



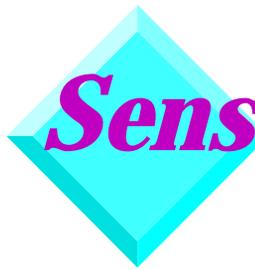
# ***Tecnología del Control***

- ▶ Sensores
- ▶ Acondicionamiento de señal
- ▶ Actuadores

***Carlos Bordóns Alba***

Dpto. Ingeniería de Sistemas y Automática

Septiembre 2000



# *Sensores de Temperatura*

- ▶ **Termómetros de dilatación**
  - T. de vidrio
  - T. de bulbo
  - T. bimetálicos
- ▶ **Termómetros sensibles a la resistencia**
  - T. de resistencia metálica
  - Termistores
- ▶ **Termopares**
- ▶ **Métodos sin contacto**
  - Pirómetros ópticos
  - Pirómetros de radiación total
  - Pirómetros de dos colores

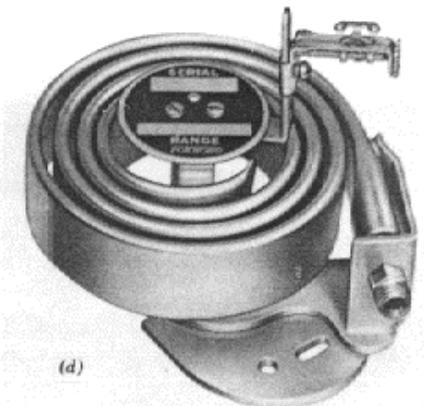
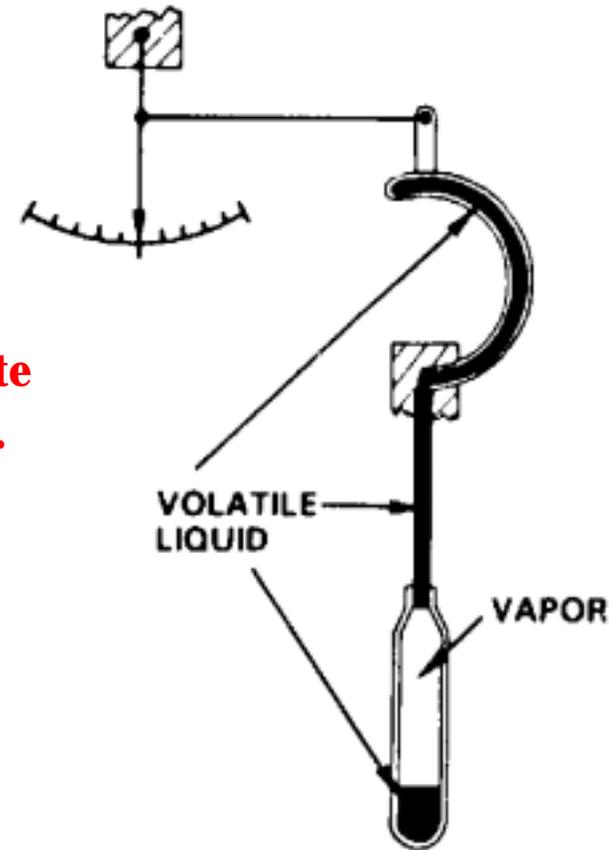
# Dilatación

## ▶ Termómetros de vidrio

- **Indican la  $T^a$  como diferencia entre el coeficiente de dilatación del vidrio y del líquido empleado.**
- **Los más comunes son:** Mercurio: (-37° C, 315°C), Mercurio con gas inerte ( $N_2$ ): (-37°C, 510°C), Alcohol: hasta -62°C
- **Precisión 1% del rango.**

## ▶ Termómetros de bulbo

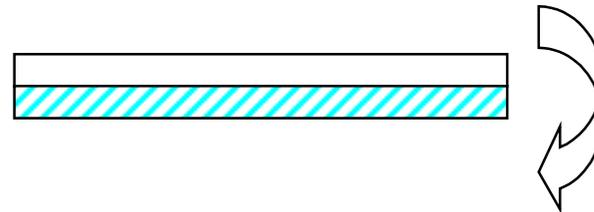
- La variación de  $T^a$  produce la expansión o contracción del fluido lo que deforma el recinto que lo contiene.
- La deformación es apreciada por un muelle **Bourdon** y transmitida a un indicador o transmisor
- Rango: (-40°C a +425°C)
- Precisión: 1%



(d)

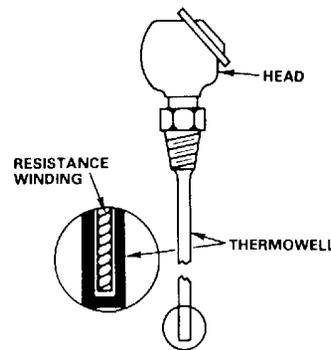
# *Termómetros bimetalicos*

- ▶ Constan de dos láminas metálicas con diferente coeficiente de dilatación, unidas sólidamente por sus extremos.
- ▶ Muy usados como termostatos
- ▶ Cuando por efecto de la  $T^a$  se dilatan, se deforman produciendose un desplazamiento mecánico cuya fuerza se emplea para mover una aguja indicadora o activar un mecanismo de control.
- ▶ Helicoidales
- ▶ Rango: 0 a 500°C
- ▶ Precisión: 1%

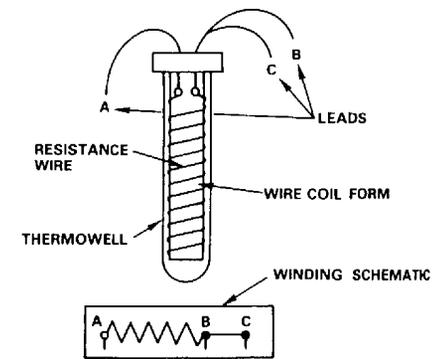


# T. de resistencia metálica. RTDs

- ▶ Se basan en que la resistencia eléctrica de metales puros aumenta con la  $T^a$ . En algunos de forma casi lineal.
- ▶ Este principio proporciona una forma muy precisa de medir.
- ▶ Se necesita un material:
  - resistente a la corrosión y ambientes hostiles
  - comportamiento lineal
  - alta sensibilidad
  - fáciles de fabricar
  - estables
- ▶ Pt y Ni
- ▶ Importante la instalación



(a)



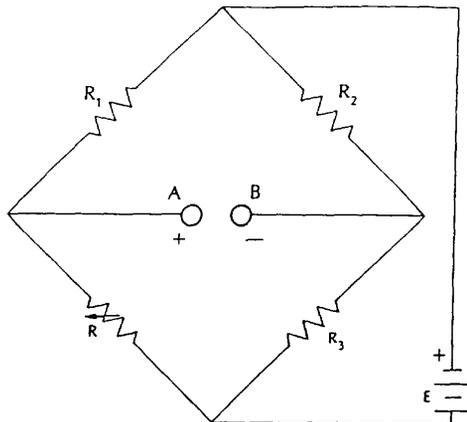
(b)

Schematic of a resistance thermometer device. (a) Assembly. (b) Components. (Courtesy of the Instrument Society of America.)

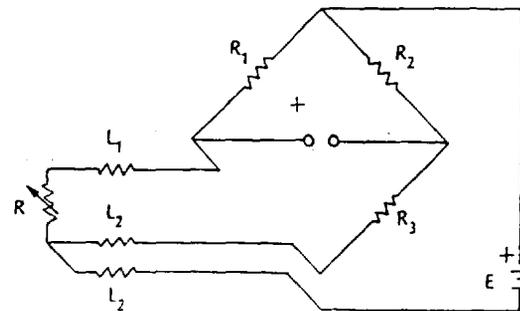
# T. de resistencia metálica (2)

- Rango: (platino)  $-200^{\circ}\text{C}$  a  $+500^{\circ}\text{C}$
- Precisión: **0.2%**
- PT100. Sensibilidad  $0.385 \text{ ohmios}/^{\circ}\text{C}$
- Para medir la variación de resistencia en el detector se usan circuitos basados en el puente de Wheatstone

Puente de Wheatstone



Conexión a tres hilos

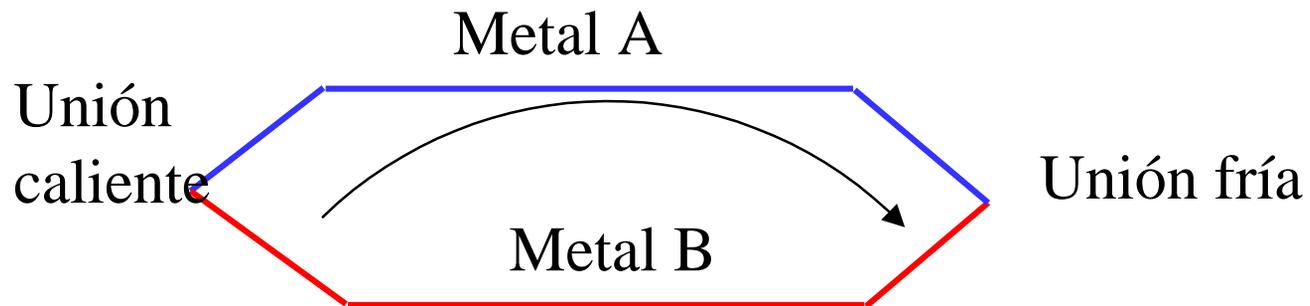


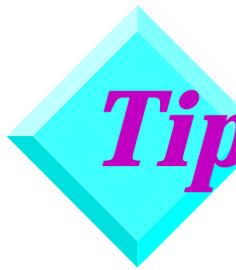
# *Termistores*

- ▶ **NTC** (Negative Temperature Coefficient)
- ▶ Semiconductores o cerámicos
- ▶ Alta sensibilidad 100 ohmios/grado (la PT100: 0.385 ohmios por grado)
- ▶ No lineal  $R(T) = R(T_0) \exp\{-B(1/T - 1/T_0)\}$ . Linealizar en torno al punto de trabajo
- ▶ Rango de  $T^a$  pequeño. Útil para  $T^a$  ambiente
- ▶ Muy baratos y pequeños ( $\Rightarrow$  menor cte. de tiempo)
- ▶ Menos precisión (a veces no interesa más)
- ▶ Problemas de estabilidad: hay que “envejecerlos”

# Termopares

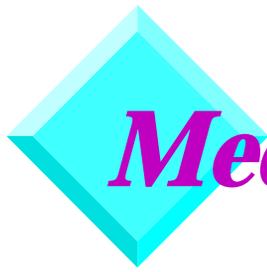
- ▶ Sensores activos. Usan el efecto Seebeck: circula una corriente cuando dos hilos de metales distintos se unen y se calienta uno de los extremos
- ▶ Se puede medir el voltaje, que es proporcional a la **diferencia de temperaturas**
- ▶ Señal de salida muy baja: milivoltios. Necesita acondicionamiento de la señal.
- ▶ Sensibilidad baja: microvoltios por grado
- ▶ Aguantan altas temperaturas (p.e. calderas)
- ▶ Bastante lineales





# *Tipos de Termopares*

- **Termopar J: Hierro y Constatan (Cu-Ni).**
  - ◆ Afectado por corrosión
  - ◆ Rango: 0°C a +750°C
  - ◆ Precisión: 0.5%
- **Termopar K: Cromo y Alumel (Al-Ni).**
  - ◆ Buena resistencia a la oxidación
  - ◆ Rango: 0°C a +1.300°C y 600°C a 1.000°C en atm. oxidantes
  - ◆ Precisión: 1%
- **Termopar R: Platino y Platino-13% Rodio.**
- **Termopar S: Platino y Platino-10% Rodio.**
  - ◆ Rango de medida más amplio (0°C a +1.600°C), pero más caros.
  - ◆ Precisión: 0.5%
- **Termopar W: Volframio-5% Renio y Volframio-26% Renio.**
  - ◆ Rango: 0°C a +2.800°C en atm. inertes o vacío.
  - ◆ Precisión: 1%



# *Medida con termopares*

- ▶ Consideración de la *unión fría*
- ▶  $V_m = V(T) - V(T_0)$
- ▶ Establecer una rutina de medida
- ▶ Usar cables de compensación cuando sea necesario



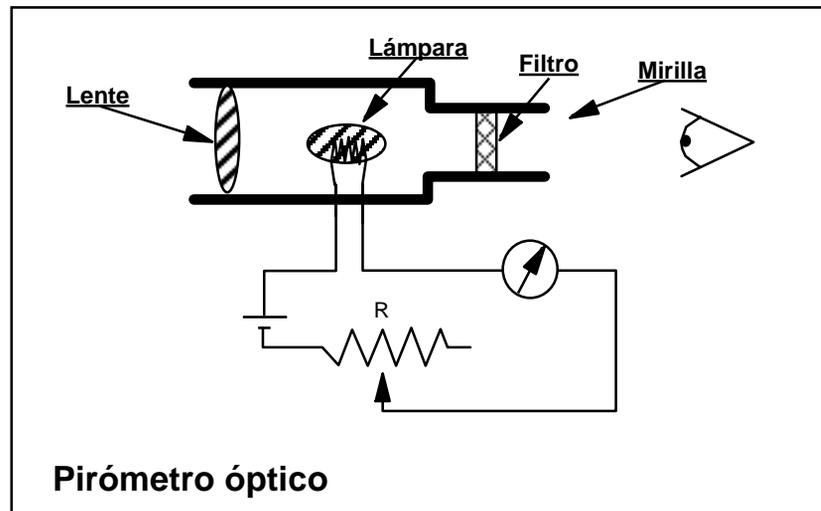
# *Pirómetros de radiación*

- ▶ Métodos sin contacto.
- ▶ Se basan en la ley de Stefan-Boltzmann: todas las sustancias a cualquier  $T^a$  por encima del cero absoluto, radian energía como resultado de la agitación atómica asociada con su  $T^a$ . La intensidad de la energía radiante emitida por la superficie de un cuerpo aumenta proporcionalmente a la cuarta potencia de la  $T^a$  absoluta del cuerpo,  $W = K T^4$ .
- ▶ Consisten en un sistema óptico que recoge la energía radiada y la concentra en un detector, el cual genera una señal proporcional a la  $T^a$ .
- ▶ La energía radiada por un cuerpo es menor que la correspondiente a su  $T^a$ , debido a que refleja energía como consecuencia del estado de su superficie.
- ▶ Por ello es necesario definir un cuerpo radiador ideal que no refleje nada (emite el máximo de energía por unidad de superficie): "cuerpo negro".
- ▶ Para corregir la medida se define el factor de emisividad: relación entre la energía emitida por un cuerpo y la emitida por el cuerpo negro.
- ▶ Los pirómetros son usados:
  - cuando no se pueden utilizar termopares (rango, ambiente agresivo).
  - cuando el área a medir se mueve o tiene difícil acceso.

# Pirómetros ópticos

Se basan en el hecho de comparar visualmente la luminosidad del objeto radiante con el filamento de una lámpara incandescente.

- ★ Para ello se superponen ambas ondas luminosas y se varía la corriente eléctrica de la lámpara hasta que deja de ser apreciable a la vista.
- ★ La variación de la corriente nos da un valor de la  $T^a$ , pero hay que calibrar la luminosidad de la lámpara previamente.

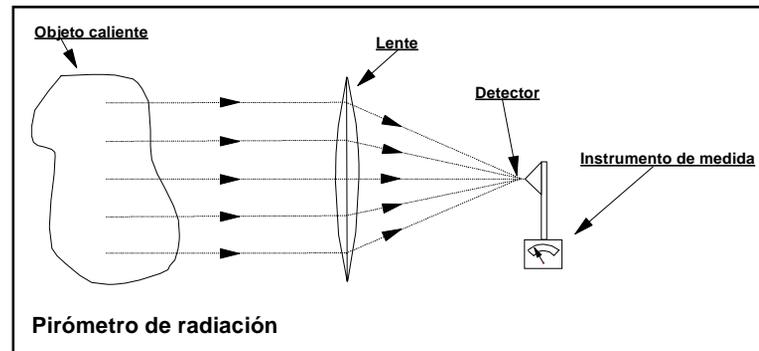


- ★ Trabajan en la banda de ondas visibles: 0,45 micras (violeta)-0,75 micras (rojo).
- ★ Fueron los primeros aparatos de pirometría, todavía se usan pero no son elementos convencionales.



# *Pirómetro de Radiación Total*

- ★ Tienen unos detectores que captan simultáneamente todas las radiaciones emitidas en la zona del espectro entre 0,3 y 20 micras.
- ★ Los detectores son de tipo térmico: "termopilas" (formados por varios termopares Pt/Pt-Rd montados en serie).
- ★ La energía radiante que reciben les eleva la  $T^a$  y generan una tensión en milivoltios.
- ★ Las variaciones de  $T^a$  de la caja del pirómetro son compensadas por una resistencia montada en paralelo con la termopila.



- ★ Inconvenientes:
  - Lentitud de respuesta.
  - Para eliminar radiaciones perturbadoras (energía radiada o absorbida por otros elementos presentes) se usan lentes y filtros que también reducen la energía útil.



# *Pirómetros de dos colores*

- ▶ Es un pirómetro con dos detectores similares, pero cada uno recibe la radiación en una longitud de onda diferente debido a que tienen distintos filtros.
- ▶ La relación entre las dos señales permite calcular la  $T^a$  del objeto sin necesidad de introducir el factor de emisividad.



# Características de los medidores de T<sup>a</sup>

Elemento sensor	Camno de Aplicación	Precisión	Ventaias	Inconvenientes
T. de vidrio	-196°C a +500°C	1%	Bajo precio, Simplicidad Larga vida	Frágil, Medida local (no control automático ni almacenamiento de valores)
T. de bulbo	-40°C a 425°C	1%	Sin alimentación de energía Compacto	Voluminoso Montaje delicado Medida local
T. bimetálicos	0°C a 500°C	1%	Precio Robustez	Medida local
T. de resistencia de platino	-200°C a +500°C	0.2%	Sensibilidad Precisión Respuesta rápida	Frágil Más caro que el termopar El propio calentamiento
Termistores	0°C a +40°C	0,01%	Gran sensibilidad y precisión Respuesta rápida Pequeño tamaño Estable	No lineal Rango de aplicación limitado
Termopares T Termopares J Termopares K Termopares R o S Termopares W	-200°C a +250°C 0°C a +750°C 0°C a +1.300°C 0°C a +1.600°C 0°C a +2.800°C	2% 0.5% 1% 0.5% 1%	Pequeño tamaño Respuesta rápida Precio razonable	Afectados por corrosión Necesaria compensación de soldadura fría
Pirómetros ópticos	+50°C a +6.000°C	0.5%	No contacto Buena repetibilidad	Elevado precio Difícil determinar T <sup>a</sup> exacta
Pirómetros de radiación total	+50°C a +6.000°C	0.5%	No contacto Buena repetibilidad	Elevado precio Difícil determinar T <sup>a</sup> exacta Lentitud de respuesta



# *Sensores de Presión*

Presión absoluta, relativa o diferencial

Indicador local: Bourdon o manómetro en U

## Sensores mecánicos

Tubo Bourdon

- Tipo C
- Espiral
- Hélice

Fuelle

Diafragma

## Sensores electromecánicos

Sensor capacitivo

Sensor de galgas extensiométricas

Sensor inductivo

Sensor piezoeléctrico

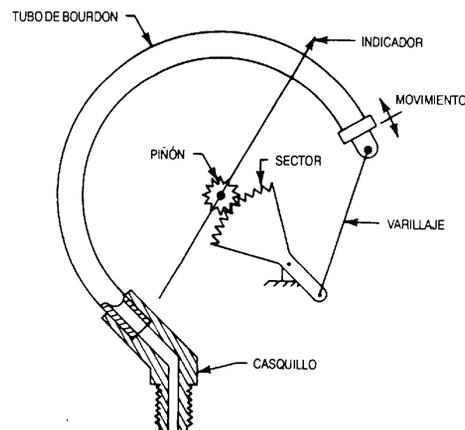
# *Tubo Bourdon*

## *Tipo C*

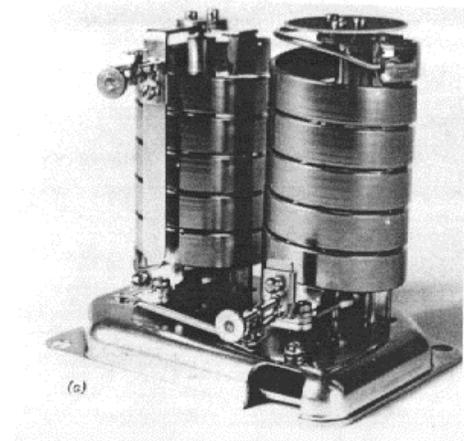
- ▶ Tubo de sección elíptica que forma un anillo casi completo cerrado por un extremo y conectado a la fuente de presión por el otro.
- ▶ Al aumentar la presión en el interior del del tubo éste se endereza, provocando un movimiento que es captado por una aguja indicadora o un transmisor (colocados en el extremo cerrado del tubo).

### *De hélice y espiral*

- ▶ Miden presiones con una mayor precisión ya que el movimiento de sus extremos cerrados es mayor.



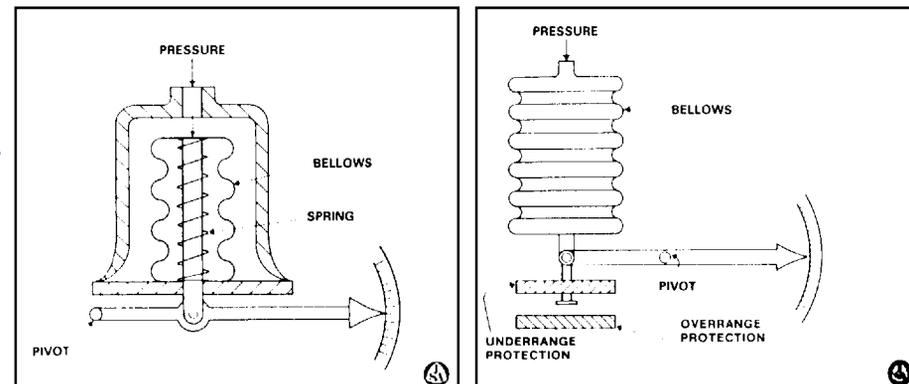
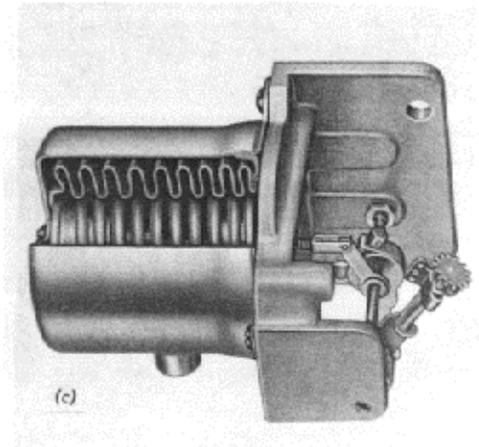
Medidor típico de presión de tubo de Bourdon en C y sistema articulado del indicador.



Tubo Bourdon de hélice

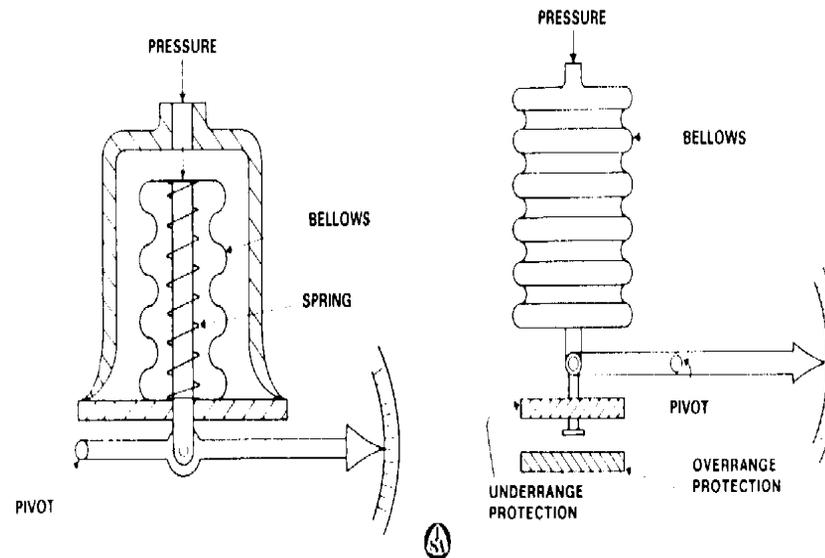
# Fuelle

- ▶ Es un tubo fino sin soldadura, ondulado, de acero inoxidable o latón, que por efecto de la presión se estira o contrae con un desplazamiento considerable.
- ▶ Para conseguir una mayor duración el y precisión el movimiento está contrarrestado por un muelle.



# Diafragma

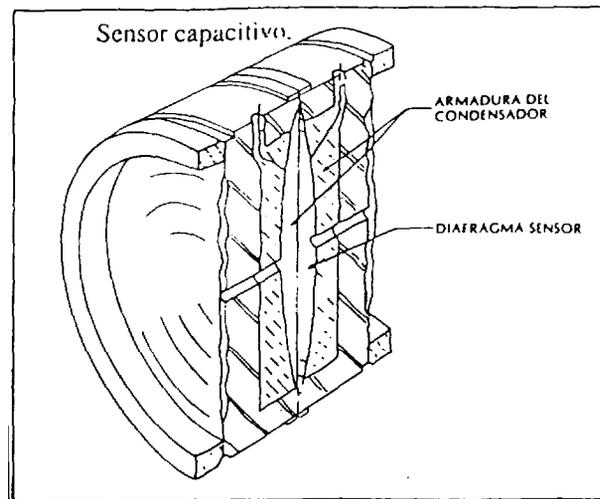
- ▶ Es similar al fuelle en concepto
- ▶ Está formado por un disco metálico flexible con la superficie plana o con ondulaciones concéntricas.



Bellows pressure sensor (Courtesy of the Instrument Society of America)

# *Sensor capacitivo*

- ▶ Consta de dos membranas exteriores y un fluido en contacto con un diafragma sensor, situado entre las dos armaduras de un condensador.
- ▶ El fluido transmite la presión soportada por las membranas al diafragma, el cual se desplaza hacia un lado o hacia otro proporcionalmente a la presión diferencial. Esto hace que varíe la constante dieléctrica entre las placas del condensador.



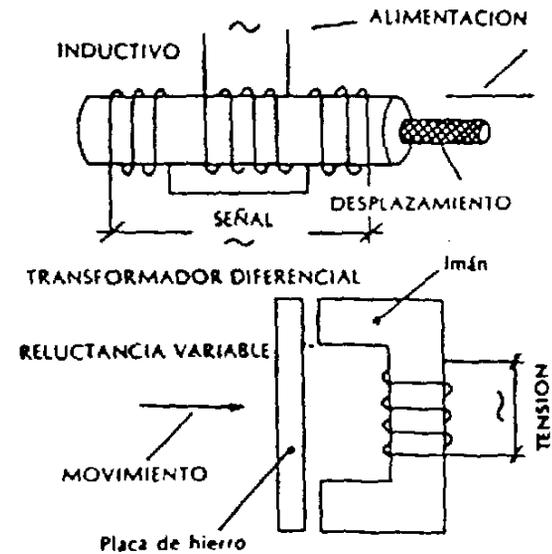


# *Sensor de galgas extensiométricas*

- ▶ Al someter una galga a presión, varía su longitud y su diámetro y en consecuencia su resistencia eléctrica.
- ▶ Para medir dicha resistencia se conecta la galga a un puente de Wheatstone.
- ▶ Se suelen conectar 4 (2 a tensión y 2 a compresión) y además a la misma temperatura, para evitar cambios en  $R$  que no se deban a la deformación



- ▶ **Sensor inductivo.** Se basa en que al desplazar un núcleo móvil dentro de una bobina aumenta la tensión inducida en el arrollamiento secundario.
- ▶ **Sensor piezoeléctrico.** Se basa en el hecho de que al recibir una presión un material piezoeléctrico (como el cuarzo o el titanio de bario), y deformarse físicamente, genera una señal eléctrica.





# *Medidores de Caudal*

## **Medidores de presión diferencial**

Placa orificio

Tubo Venturi

Tubo Pitot

Medidores de impacto

## **Medidores de velocidad**

Medidor de turbina

Medidor electromagnético

Medidor Vortex

Rotámetro

Medidor de ultrasonidos

## **Medidores másicos**

Medidor másico térmico

Medidor de Coriolis

## **Medidores volumétricos**

Medidor de desplazamiento positivo

# Medidores de presión diferencial

- ▶ Al restringir el paso de fluido se produce una caída de presión estática.

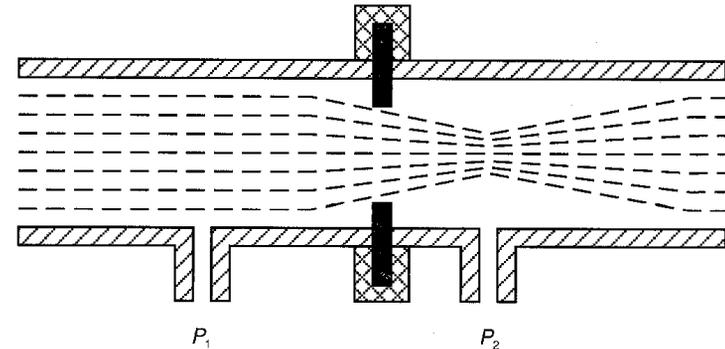
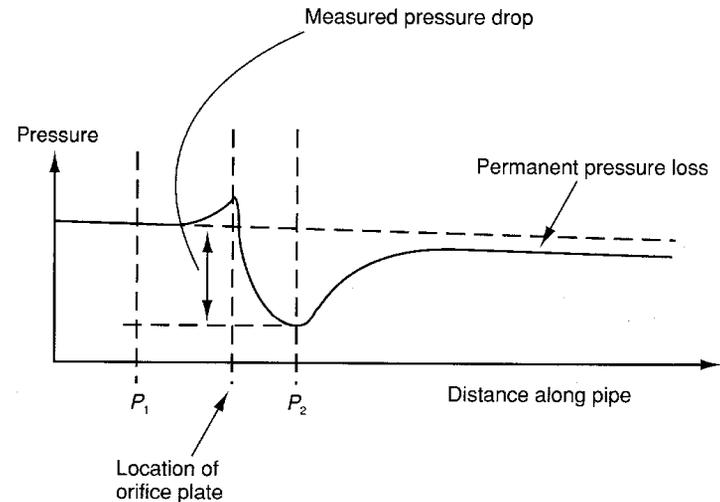


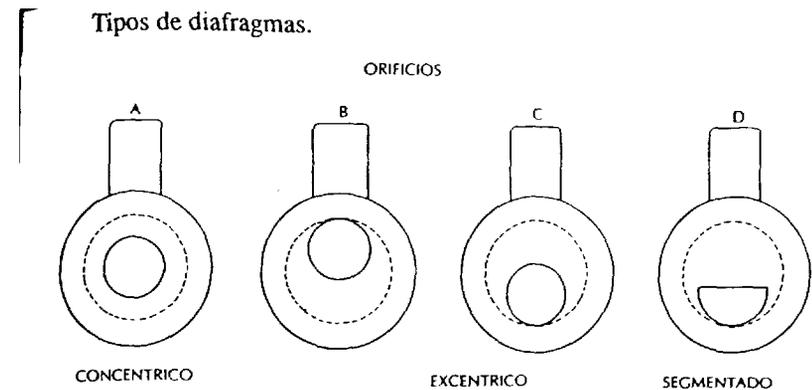
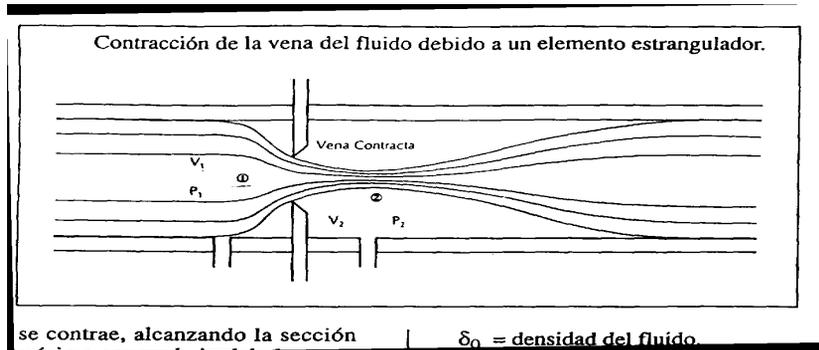
Figure 14.2 Profile of flow across orifice plate

$$Q = K \sqrt{\frac{\Delta p}{\rho}}$$



# Placa orificio

- ▶ Es una placa con un orificio (generalmente afilado aguas arriba y biselado aguas abajo).
- ▶ Se usa con líquido limpios y gases.
- ▶ Los fluidos sucios producen erosión del filo de la placa.
- ▶ Se usan orificios excéntricos:
  - en la parte alta, para permitir el paso de gases al medir líquidos.
  - en la parte baja, para dejar pasar sólidos suspendidos.

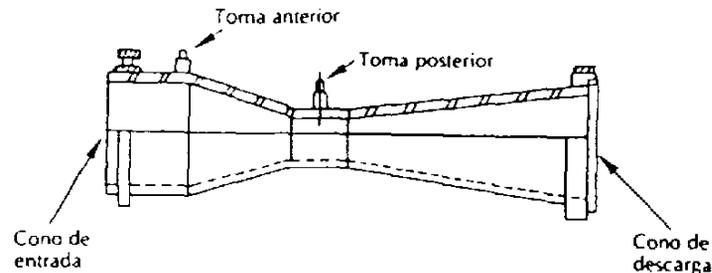


Tipo	Aplicación
A	Gases o líquidos limpios. Pequeños orificios de drenaje o venteo para eliminar pequeñas cantidades de líquidos o gas.
B	Líquidos con considerables cantidades de gas.
C	Gases con considerable cantidad de líquido condensado. Líquidos con arrastre de sólidos.
D	Líquidos con posible sedimentación de sólidos.

# *Tubo Venturi*

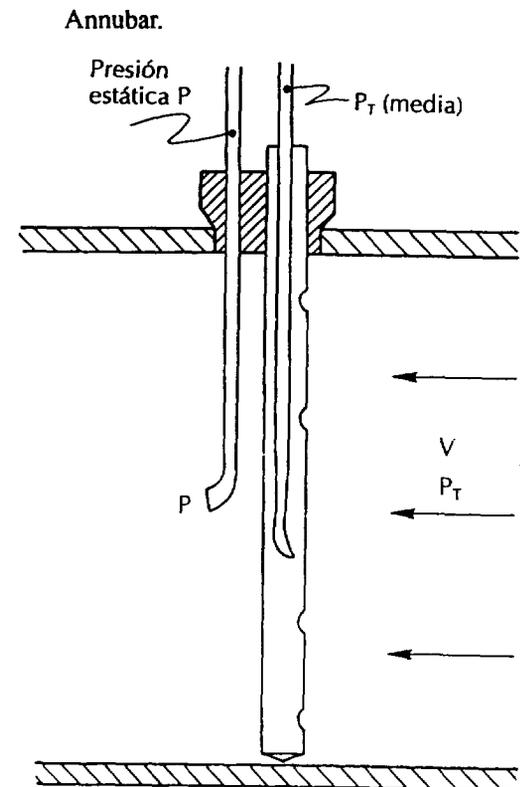
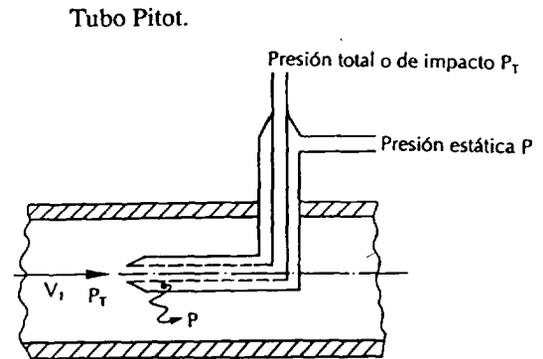
- ▶ Se utiliza cuando es importante limitar la caída de presión.
- ▶ Consiste en un estrechamiento gradual cónico y una descarga con salida también suave.
- ▶ Se usa para fluidos sucios y ligeramente contaminados.
- ▶ Se utiliza para tasas de "turn down" (relación entre el máximo y el mínimo caudal, ej. 4:1 ) altas, como la de las líneas de vapor.
- ▶ El alto coste restringe su utilización.

Tubo venturi.



# Tubo Pitot

- ▶ Mide la velocidad en un punto.
- ▶ Consiste en un tubo de pequeño diámetro que se opone al flujo, con lo que la velocidad en su extremo mojado es nula. Midiendo la altura de la columna de líquido tenemos la presión total del punto. Si medimos la presión estática con otro tubo, podemos calcular la velocidad como función de la diferencia de presiones





# *Tubo Pitot*

- ▶ Sus ventajas son la escasa caída de presión y bajo precio, siendo por ello una buena elección para tuberías de gran diámetro y para gases limpios.
- ▶ El tubo Annubar es una variante del tubo de Pitot que dispone de varias tomas, a lo largo de la sección transversal, con lo que se mide la presión total en varios puntos, obteniendo la media de estos valores y evitando el error que produce el tubo de Pitot.

## **Medidores de impacto:**

- ▶ Miden la fuerza sobre una placa (generalmente un disco circular) que se coloca en contra del flujo.
- ▶ Tienen baja precisión (0.5 - 5%), pero son adecuados para fluidos sucios, de alta viscosidad y contaminados.



# Turbina

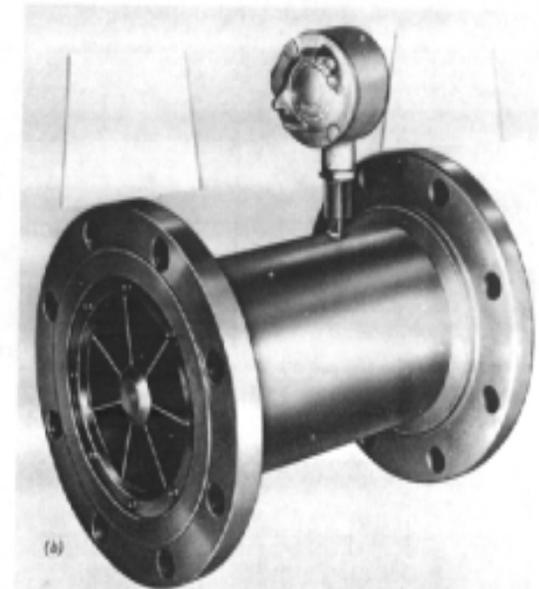
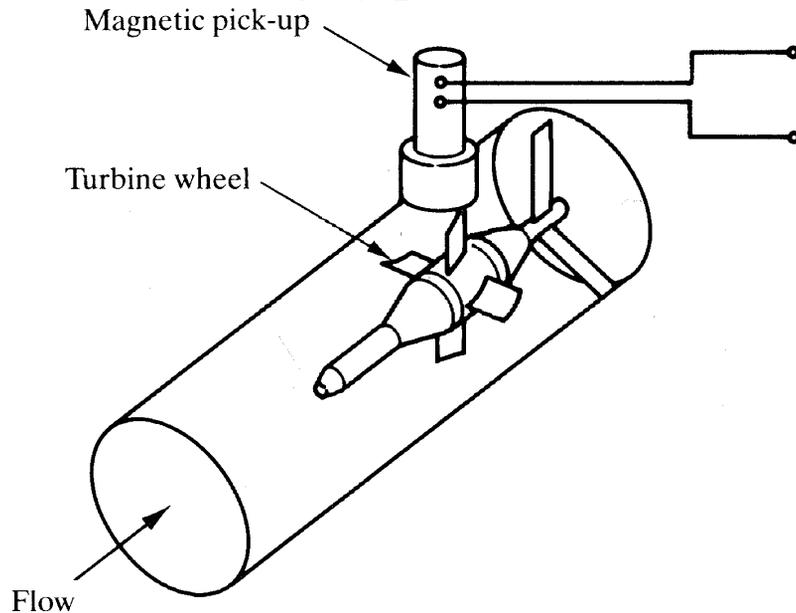
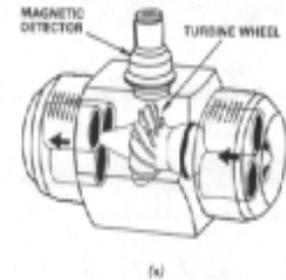
El fluido entra en el medidor y hace girar un rotor a una velocidad que es proporcional a la del fluido, y por tanto al caudal instantáneo.

La velocidad de giro del rotor se mide por conexión mecánica (un sensor registra el número de vueltas) o por pulsos electrónicos generados por cada giro.

Son los más precisos (Precisión 0.15 - 1 %).

Son aplicables a gases y líquidos limpios de baja viscosidad.

Problemas: Pérdida de carga y partes móviles



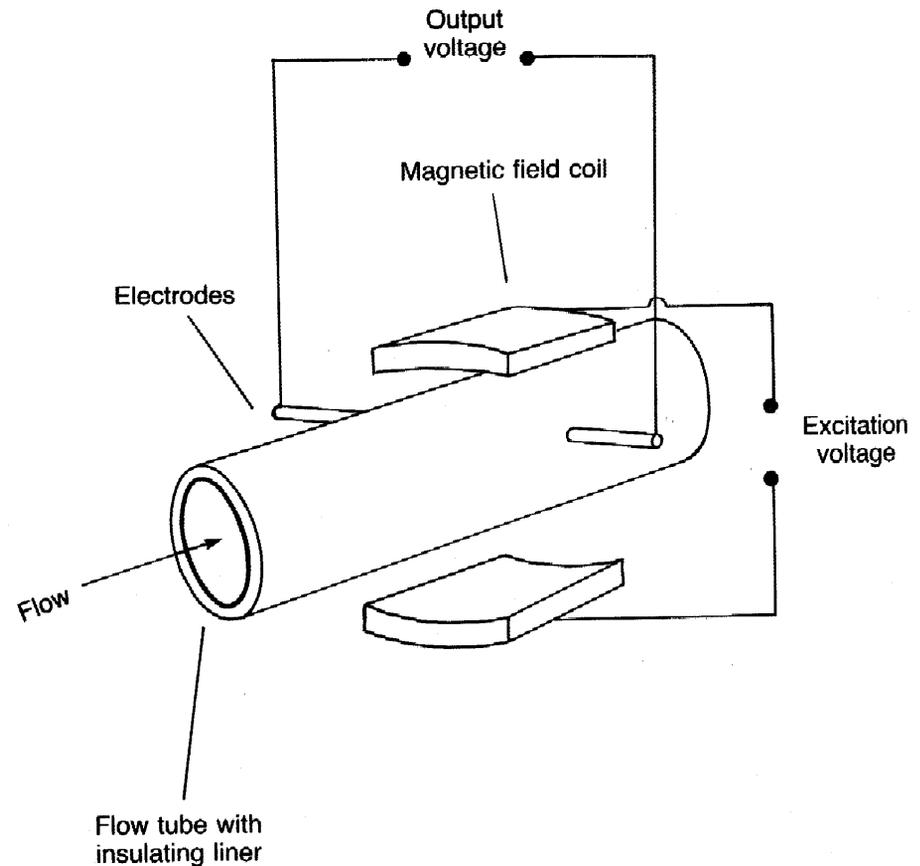
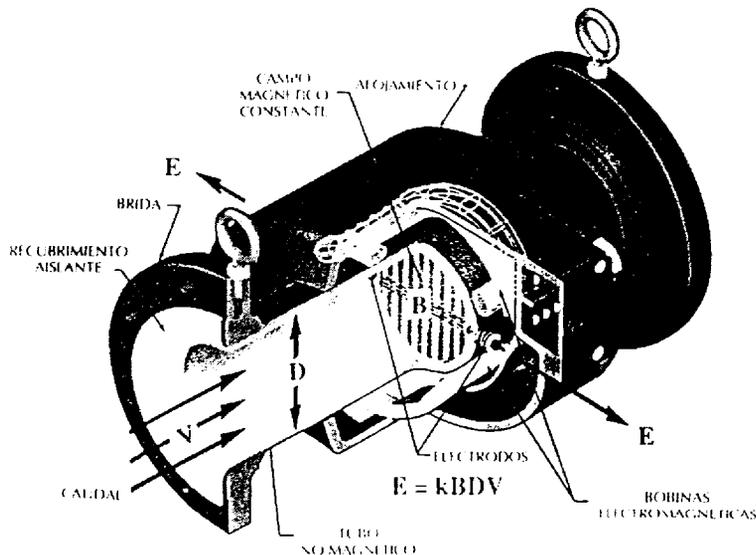
# *Medidor electromagnético*

- ▶ Se basan en la Ley de inducción electromagnética de Faraday: “el voltaje inducido en un conductor que se mueve en un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor, dimensión del conductor, y fuerza del campo magnético” ( $E = K V D B$ ).
- ▶ El medidor consta de:
  - **Tubo de caudal:**
    - ◆ el propio tubo (de material no magnético) recubierto de material no conductor (para no cortocircuitar el voltaje inducido),
    - ◆ bobinas generadoras del campo magnético,
    - ◆ electrodos detectores del voltaje inducido en el fluido.
  - **Transmisor:**
    - ◆ Alimenta eléctricamente (C.A. o C.C.) a las bobinas.
    - ◆ Elimina el ruido del voltaje inducido.
    - ◆ Convierte la señal (mV) a la adecuada a los equipos de indicación y control (mA, frecuencia, digitales).

# Medidor electromagnético

- ▶ Es poco sensible a los perfiles de velocidad y exigen conductividad de  $5\mu\Omega/\text{cm}$ .
- ▶ No originan caída de presión .
- ▶ Se usan para líquido sucios, viscosos. y contaminados.
- ▶ Precisión: 0.25 - 1%

Tubo de caudal.



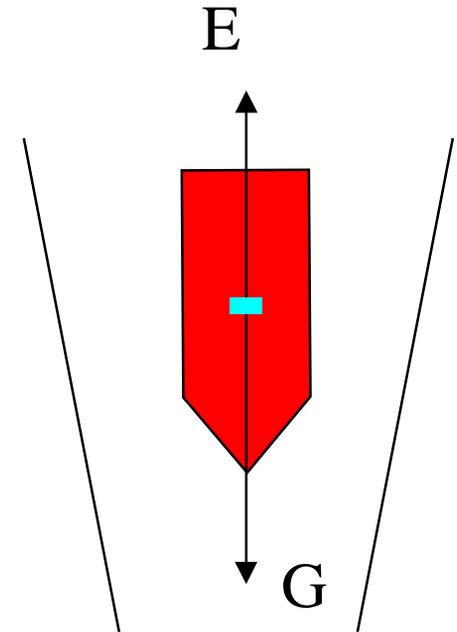


# *Medidor Vortex*

- ▶ La introducción de un cuerpo romo en la corriente de un fluido provoca un fenómeno de la mecánica de fluidos conocido como vórtice o torbellino (efecto de Van Karman).
- ▶ Los vórtices son áreas de movimiento circular con alta velocidad local.
- ▶ La frecuencia de aparición de los vórtices es proporcional a la velocidad del fluido.
- ▶ Los vórtices causan áreas de presión fluctuante que se detectan con sensores.
- ▶ Para poder usar este medidor es necesario que el fluido tenga un valor mínimo del número de Reynolds ( $Re = \rho v D / \mu$ ).
- ▶ Indicado para gases y líquidos limpios.
- ▶ Precisión: 1%

# *Rotámetros*

- ▶ Medidores de área variable en los que un flotador cambia su posición de forma proporcional al caudal
- ▶ Como indicador visual. Se le puede hacer acoplamiento magnético
- ▶ Instalación en vertical



# Medidores de ultrasonidos

- ▶ Emplean ondas ultrasónicas para determinar el caudal.
- ▶ Son buenos para medir líquidos altamente contaminados o corrosivos, porque se instalan exteriormente a la tubería.
- ▶ Precisión: 2 - 5%

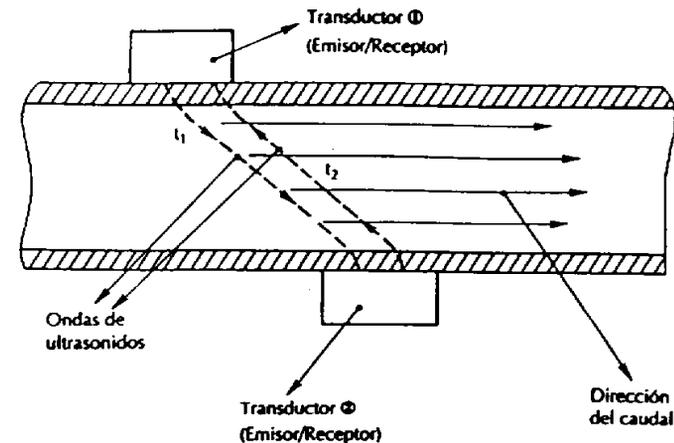
## Medidor a pulsos

- Se introducen dos pulsos inclinados y simultáneamente, mediante dos transmisores emisor- receptor, que reflejan en la tubería. La diferencia de tiempo para el mismo camino recorrido depende de la velocidad del flujo.

## Medidor Doppler

- Emite ondas de frecuencia fija que reflejan en el fluido.
- Como el fluido posee velocidad se produce una variación de la frecuencia de la onda reflejada

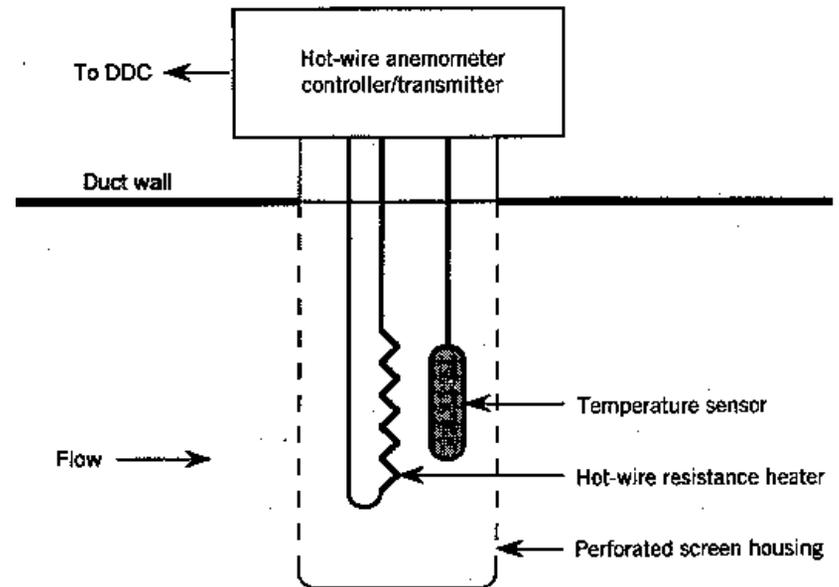
Medidor de caudal por ultrasonidos.



# Medidor másico térmico

## Medidor de incremento de $T^a$

- Consiste en aportar calor en un punto de la corriente y medir la  $T^a$  aguas arriba y aguas abajo.
- Si la velocidad del fluido fuese nula no habría diferencia de  $T^a$ , pero al existir velocidad la diferencia de  $T^a$  es proporcional al flujo másico existente.
- Lo más común es el diseño en by-pass.
- Precisión: 1%

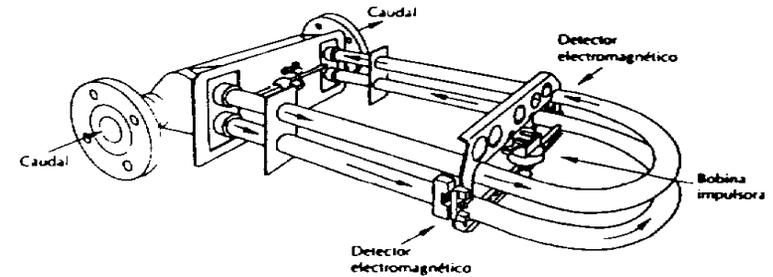




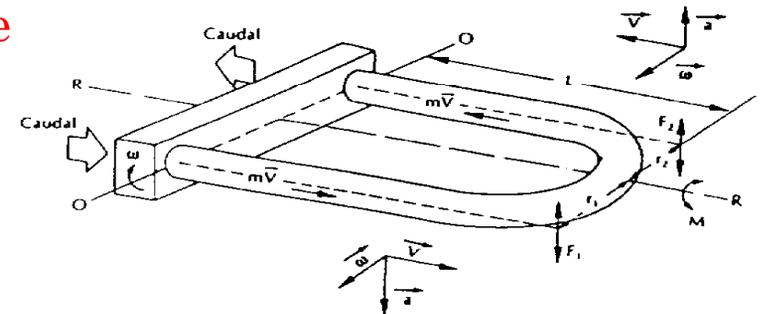
# Medidor de Coriolis

- ▶ Medidor másico. Se basa en que la aceleración absoluta de un móvil es la resultante de la relativa, la de arrastre y la de Coriolis
- ▶ Tres bobinas electromagnéticas forman el sensor:
  - La bobina impulsora hace vibrar los (dos) tubos, sometiéndolos a un movimiento oscilatorio de rotación alrededor del eje O-O'. Vibran a la frecuencia de resonancia (menos energía), 600-2000 Hz.
  - Los 2 detectores electromagnéticos inducen corrientes eléctricas de forma senoidal, que están en fase si no circula fluido.
- ▶ El flujo atraviesa (dos) tubos en forma de U, estando sometido a una velocidad lineal "v" y una velocidad angular " $\omega$ " de rotación alrededor de O-O', por lo que sufre una aceleración de Coriolis de valor  $a=2 \omega \times v$

Tubo sensor mostrando posición de los detectores y bobina impulsora.



Tubo sensor con los ejes de rotación.





# *Medidor de Coriolis*

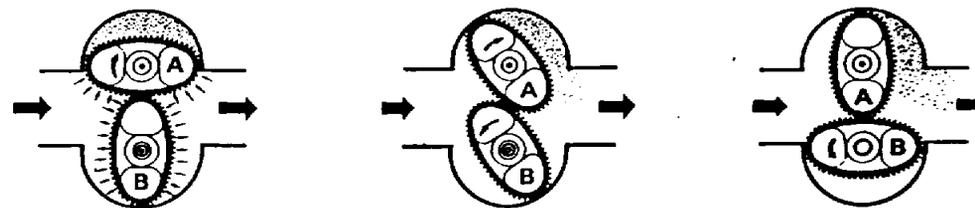
- ▶ La fuerza ejercida sobre el fluido como consecuencia de la aceleración cambia de signo con "v", por lo que se genera un par de fuerzas que produce una torsión de los tubos alrededor del eje R-R'.
- ▶ La torsión alrededor del eje R-R' produce un desfase de tiempo  $\Delta t$ , entre las corrientes inducidas por los detectores electromagnéticos, que es proporcional al par de fuerzas ejercido sobre los tubos, y por tanto a la masa que circula por ellos.
- ▶ Alta precisión: (0.2 - 0.5%)
- ▶ La medida es independiente de la temperatura, presión, densidad, viscosidad y perfil de velocidades.
- ▶ Mantenimiento casi nulo, lo que abarata su coste.
- ▶ Se aplica a fluidos viscosos, sucios, corrosivos con T<sup>a</sup> extrema alta o baja, y con altas presiones.

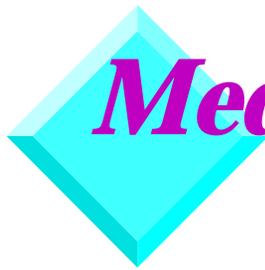
# Medidores volumétricos

## Medidor de desplazamiento positivo

- El flujo se divide en segmentos de volumen conocido, contando el número de segmentos en un intervalo de tiempo.
- Se usa en aplicaciones de fluidos de alta viscosidad, y fluidos de menos de  $5 \mu\text{S}/\text{cm}$  (no se pueden usar el medidor magnético).
- No se recomienda con fluidos sucios al existir partes móviles.
- Precisión: (0.2 - 0.5%)

Caudalímetro de desplazamiento positivo.



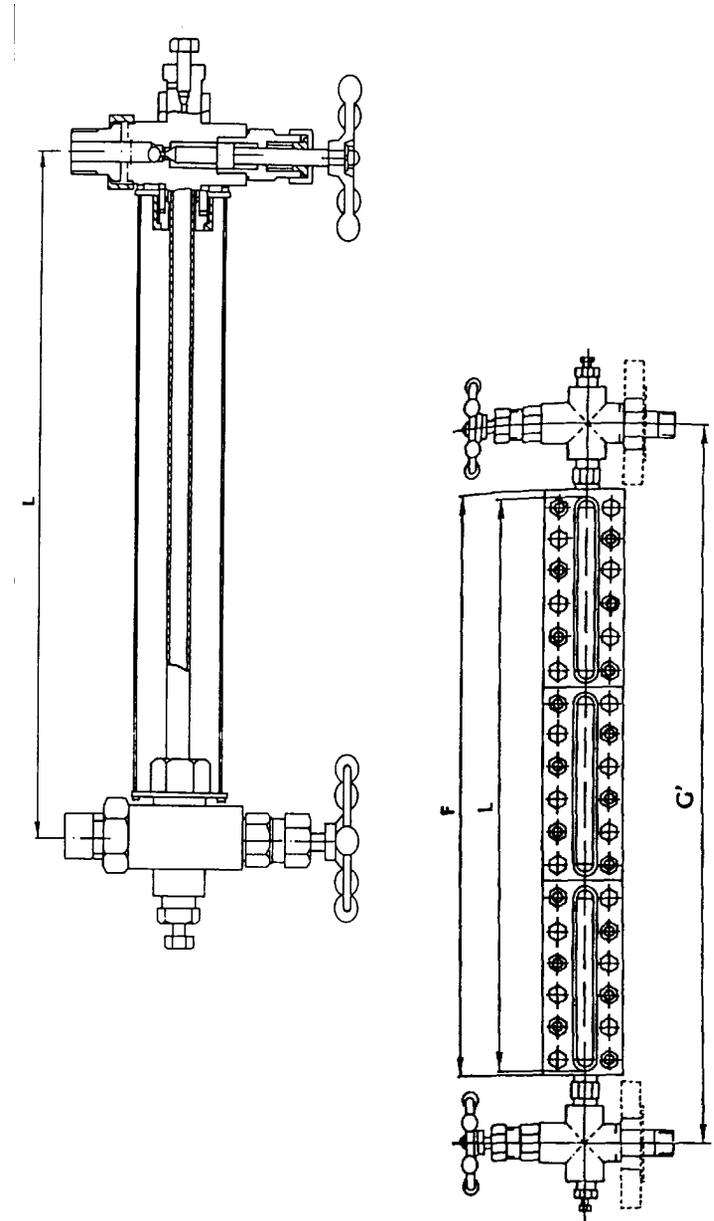


# *Medidores de nivel*

- ▶ **Indicadores locales**
- ▶ **Transmisores de nivel en líquidos**
  - Desplazamiento (flotador)
  - Presión diferencial
  - Burbujeo
  - Radioactivo
  - Capacitivo
  - Ultrasonidos
  - Conductivímetro
  - Radar
  - Servoposicionador

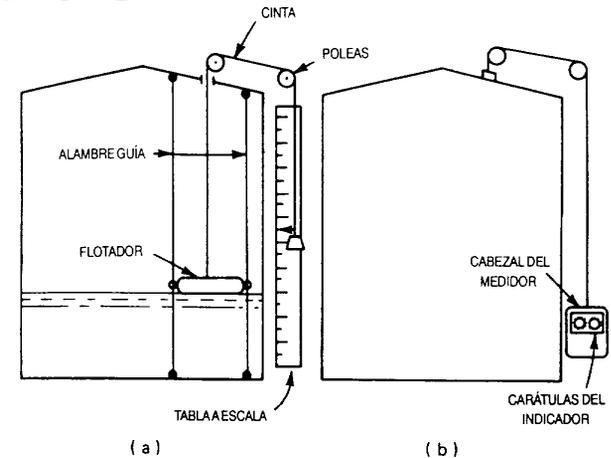
# *Nivel tubular*

- ▶ Tubo de material transparente y rígido conectado al depósito por dos bridas con dos válvulas manuales de corte.
- ▶ El líquido sube por el tubo hasta igualar al nivel del depósito
- ▶ Limitaciones:
  - No soportan mucha presión
  - No soportan mucha  $T^a$
  - No son resistentes a los impactos
  - No se pueden usar líquidos que manchen el interior del tubo
- ▶ También los hay de vidrio armado (piezas de vidrio y acero)
  - Reflexión
  - Refracción

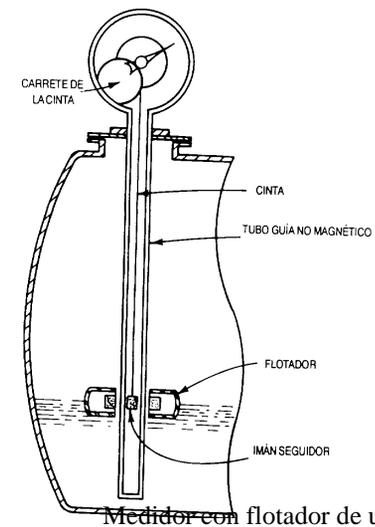


# Medidor de nivel de flotador

- ▶ Constituido por un flotador pendiente de un cable, un juego de poleas, y un contrapeso exterior.
- ▶ Distintos modelos:
  - de regleta: el contrapeso se mueve en sentido contrario al flotador por una regleta calibrada,
  - de unión magnética: el flotador hueco, que lleva en su interior un imán, se desplaza a lo largo de un tubo guía vertical no magnético. El imán seguidor suspendido de una cinta mueve una aguja indicadora.
- ▶ Es fácil instalar contactos a lo largo de la regleta para fijar alarmas de nivel.



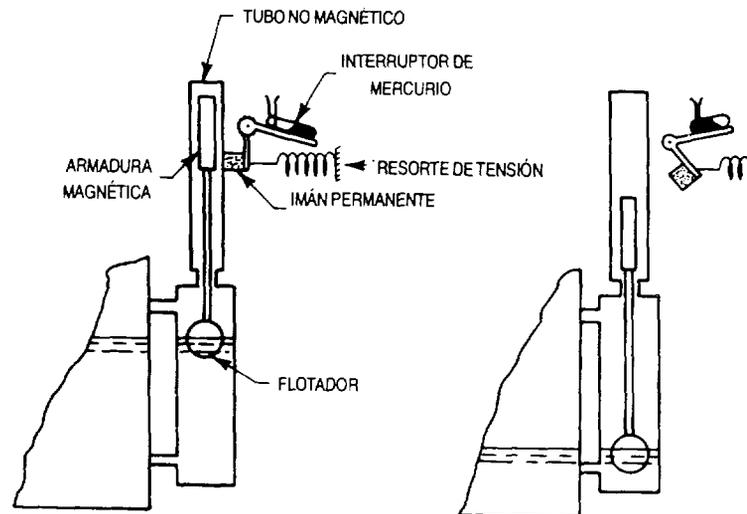
Medidores de flotador y cinta.  
a) Indicador de tabla a escala.  
b) Medidor de lectura en tierra



Medidor con flotador de unión magnética

# *Interruptor de nivel tipo flotador*

- ▶ Consta de un flotador pendiente del techo del depósito por una barra a través de la cual transmite su movimiento a un ampolla de mercurio (la hace bascular) con un interruptor.
- ▶ Si el nivel alcanza al flotador lo empuja en sentido ascendente, ascendiendo si la fuerza supera al peso del flotador.
- ▶ Este movimiento es transmitido por la barra y el interruptor cambia de posición.

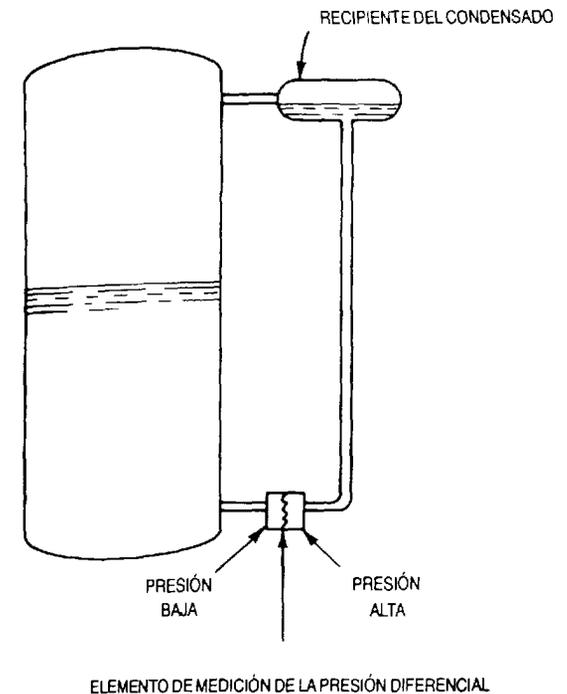


# *Medidor de presión diferencial*

- ▶ Tanque abierto: el nivel del líquido es proporcional a la presión en el fondo. Se coloca un medidor de presión.

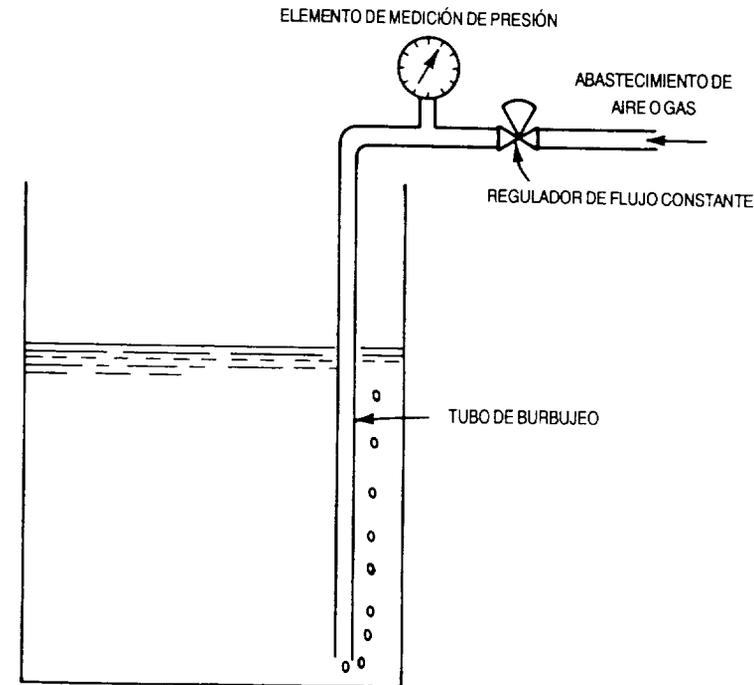
$$p = \rho gh$$

- ▶ Tanque cerrado: diferencia de presión ejercida por el líquido en el fondo y la presión que tiene el depósito
- ▶ Cuidado con condensados o rebosamiento: montaje en columna mojada.



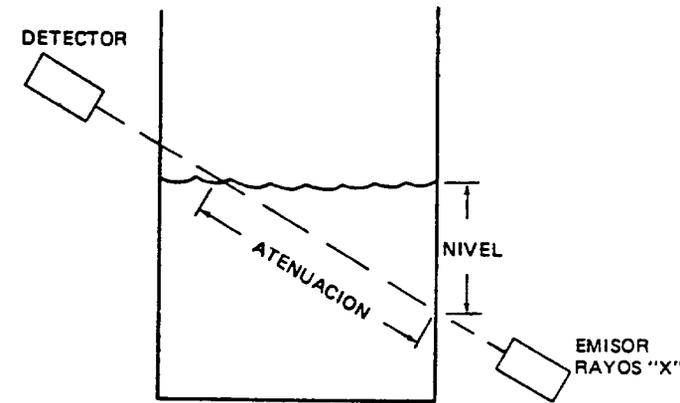
# *Medidor de nivel por burbujeo*

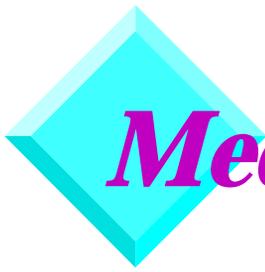
- ▶ Mediante un regulador de caudal se hace pasar por un tubo (sumergido en el depósito hasta el nivel mínimo), un pequeño caudal de aire o gas inerte hasta producir una corriente continua de burbujas.
- ▶ La presión requerida para producir el flujo continuo de burbujas es una medida de la columna de líquido.
- ▶ Sistema muy ventajoso en aplicaciones con líquidos corrosivos o con materiales en suspensión (el fluido no penetra en el medidor, ni en la tubería de conexión).



# Medidor radioactivo

- ▶ Constan de una fuente radioactiva que se instala en un costado del depósito. Al otro lado se coloca un medidor de radiación puntual para medidas todo nada o lineal para medidas continuas.
- ▶ La potencia emisora de la fuente decrece con el tiempo, por lo que hay que recalibrar estos instrumentos.
- ▶ Su aplicación se ve limitada por las dificultades técnicas y administrativas que conlleva el manejo de fuentes radioactivas.
- ▶ Son óptimos para medir fluidos con alta  $T^a$ , líquidos muy corrosivos, reactores de polímeros, ..., porque no existe contacto





# *Medidor capacitivo*

- ▶ Se basa en medir la variación de capacitancia de un condensador cuando va variando el medio dieléctrico entre sus placas.
- ▶ Con el depósito metálico e introduciendo una sonda metálica sin contacto entre ambos, se forma un condensador.
- ▶ Al variar el nivel de líquido varía proporcionalmente la capacidad.
- ▶ Si el depósito no es metálico se introducen dos sondas.
- ▶ También se usan como interruptores de nivel.

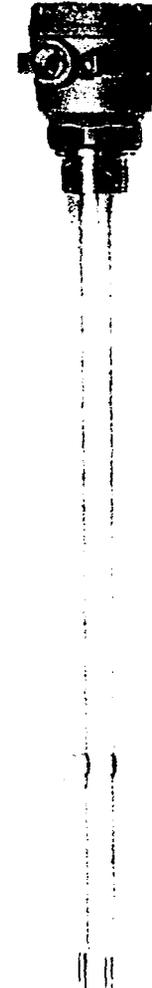


# *Medidor por ultrasonidos*

- ▶ Constan de un medidor de ondas sonoras de alta frecuencia (entre 20 y 40 kHz) que se propaga por la fase gas hasta que choca con el líquido o sólido, se refleja y alcanza el receptor situado en el mismo punto que el emisor.
- ▶ El tiempo entre la emisión de la onda y la recepción del eco es inversamente proporcional al nivel.
- ▶ El tiempo depende de la  $T^a$ , por lo que hay que compensar las medidas.
- ▶ Hay que evitar que existan obstáculos en el recorrido de las ondas, aunque algunos medidores compensan los ecos fijos debidos al perfil del depósito.
- ▶ Sensibles al estado de la superficie del líquido (espumas).

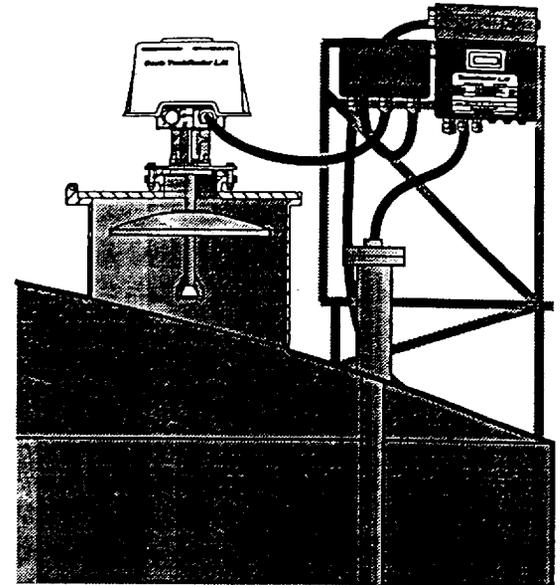
# *Medidor de tipo conductivímetro*

- ▶ Consta de una sonda con dos electrodos. Cuando estos entran en contacto con el líquido conductor se cierra un circuito eléctrico, que a través de la unidad amplificadora conmuta un contacto.
- ▶ Se usa como **interruptores** de nivel en recipientes de líquidos conductores que no sean ni muy viscoso ni corrosivos, aunque también se usa para medidas continuas.



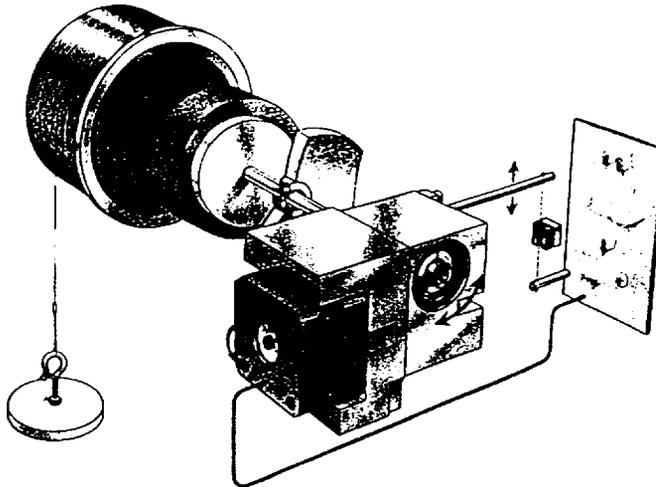
# *Sistemas de radar*

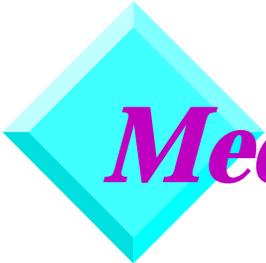
- ▶ No necesitan ningún contacto con el líquido, ni incorporan ningún elemento que se mueva, por lo que su aplicación es ideal en productos muy viscosos (incluso asfaltos), o en sistemas en movimiento (como barcos).
- ▶ Rango de medida: hasta 40m.
- ▶ Precisión: 2mm.



# *Servoposicionador*

- ▶ Gran precisión: 1mm con alta repetibilidad y sensibilidad.
- ▶ Mide de forma continua la tensión de un hilo del que pende un contrapeso (en forma de disco).
- ▶ El sistema está en equilibrio cuando el contrapeso tiene un ligero contacto con el líquido. Al cambiar el nivel del líquido, varía la tensión del hilo lo que es detectado por un servoposicionador. Éste tiende a restituir el equilibrio de tensiones subiendo o bajando el contrapeso.
- ▶ Hay versiones de estos equipos para tanques atmosféricos, esferas de GLP a presión, y de acero inoxidable para la industria alimenticia.





# *Medidores de nivel en sólidos*

- ▶ Problema de definir el nivel. No tiene por qué existir una superficie horizontal
- ▶ Distinto carga que descarga
- ▶ Se pueden usar algunos de los de líquidos y otros específicos.
- ▶ Tipos:
  - **Palpador**
  - **Paletas rotativas**
  - **Vibratorio**
  - **Membrana sensitiva**
  - **Peso**
  - **Ultrasonidos**
  - **Radar**

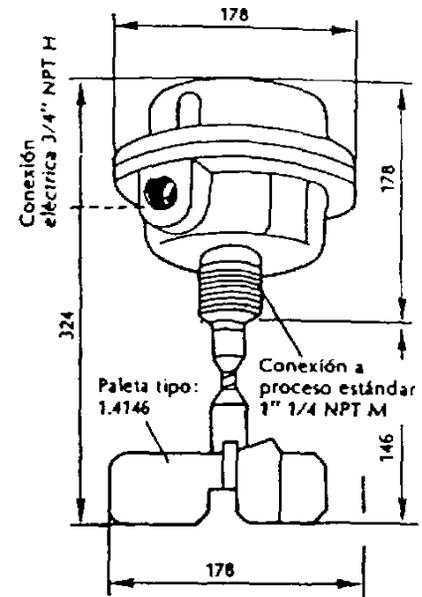


# *Medidor por palpador*

- ▶ Análogo al “sondeo”
- ▶ Miden bajo demanda del operador o de un temporizador.
- ▶ Constan de un cable de medición o cinta de acero con un peso en su extremo, movido por un motor.
- ▶ Al chocar el peso con la superficie del material se anula la rigidez del cable, lo que conmuta la dirección de giro del motor ascendiendo el peso.
- ▶ Durante el descenso se mide el cable desenrollado, lo que nos indica el nivel.
- ▶ El peso debe tener una sección suficiente para que no se hunda en el material.
- ▶ Se usa para materiales sólido con granulometría hasta 3mm.

# Paletas rotativas

- ▶ Un motor hace girar unas paletas (9 r.p.m.) a través de un resorte.
- ▶ Al entrar en contacto el material con las paletas, éstas se paran, pero el motor continua girando hasta que el muelle asociado al motor se expande al máximo y toca un final de carrera que da un contacto eléctrico.
- ▶ Cuando el nivel disminuye, el resorte recupera su posición, el motor arranca y el contacto cambia de posición.
- ▶ Intensidad del motor proporcional a la longitud de paleta en contacto con el sólido
- ▶ Su principal aplicación es la detección del nivel de alta para sólidos granulados.





## Vibratorio

- ▶ Se compone de una sonda en forma de diapasón que vibra a unos 80Hz impulsado piezoeléctricamente.
- ▶ Cuando el material cubre el diapasón las vibraciones se amortiguan, lo que produce una señal que activa un relé.
- ▶ La instalación suele ser lateral y roscada a la altura del nivel, pero también podemos encontrar sondas verticales.

## Membrana sensitiva

- ▶ Consta de una membrana acoplada a la pared del recipiente en el punto en el que se quiere detectar el nivel.
- ▶ Cuando el material llega a la altura del interruptor, presiona la membrana y actúa un conmutador.
- ▶ Se usa con sólidos de granulometría media y pequeña.

## Peso

- ▶ Se detecta el nivel de sólido mediante el peso
- ▶ Se detecta el paso de tolva+contenido
- ▶ Células de carga. Galgas extensiométricas.

# Instrumentos de nivel para líquidos

Medida continua		Interruptores		Interfase		Almacenamiento	
Transmisores		Local					
Recipiente a presión <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión diferencial con toma de baja situada en techo.</li> <li>● Electromecánico (casos especiales).</li> <li>● Desplazador exterior (rangos pequeños).</li> </ul>	Depósito a presión <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nivel de vidrio armado por reflexión</li> <li>● Nivel de vidrio armado por transparencia</li> </ul>	Líquido limpio	Líquido limpio <ul style="list-style-type: none"> <li>● Flotador interior y exterior</li> <li>● Capacitivo</li> <li>● Conductivímetro</li> </ul>	Líquido/ líquido	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Desplazador</li> <li>● Presión dif.</li> <li>● Flotador</li> <li>● Los mimos que para aire/líquido</li> </ul>	Producto muy viscoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Palpador</li> <li>● Radar</li> </ul>
		Líquido sucio		Productos tóxicos abrasivos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Medidor de flotador unión magnética</li> </ul>		Espuma / líquido <ul style="list-style-type: none"> <li>● Óptico</li> </ul>	Producto ligero
Depósito atmosférico <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión diferencial con toma de baja a la atmósfera.</li> <li>● Electromecánico (casos especiales).</li> <li>● Desplazador exterior (rangos pequeños).</li> </ul>	Depósitos altos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Árbol de niveles de vidrio</li> </ul>	Productos tóxicos abrasivos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Medidor de flotador unión magnética</li> </ul>	Productos sucios <ul style="list-style-type: none"> <li>● Microondas</li> </ul>	Agua limpia/ fangos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Óptico</li> </ul>	Depósitos en movimiento <ul style="list-style-type: none"> <li>● Radar</li> </ul>	Pantanos, pozos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión hidrostática</li> </ul>	
		Depósitos atmosféricos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Nivel tubular</li> <li>● Nivel de vidrio armado</li> </ul>		Plásticos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Radioactivo</li> </ul>			Espuma <ul style="list-style-type: none"> <li>● Ópticos</li> </ul>
Líquido sucio <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión diferencial con diafragma separador.</li> <li>● Medidor por barboteo.</li> <li>● Ultrasonido.</li> </ul>	Depósitos enterrados <ul style="list-style-type: none"> <li>● Medidor de flotador.</li> <li>● Presión diferencial con diafragma y manómetro.</li> </ul>	Depósito enterrado <ul style="list-style-type: none"> <li>● Desplazador.</li> <li>● Medidor por barboteo.</li> <li>● Capacitivo.</li> <li>● Ultrasonido.</li> </ul>					
Industria alimenticia-farmaceutica. Productos que cristalizan <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión diferencial con diafragma con prolongación.</li> <li>● Capacitivo.</li> </ul>							
Plásticos <ul style="list-style-type: none"> <li>● Presión diferencial con diafragma con prolongación. (problemas en las paradas)</li> <li>● Radioactivo (problemas de permisos).</li> <li>● Capacitivo (con</li> </ul>							



# Instrumentos de nivel para sólidos

	POLVO		GRANO MEDIO		GRANO GRUESO
Medida continua	Capacitivo	Puede ser arrastrado por el material	Ultrasonido	Límite de T <sup>a</sup>	Radioactivo Ultrasonido
	Ultrasonido	Límite de T <sup>a</sup>			
	Electromecánico				
Interruptor	Vibratorio	Peligro de arrastre por el material	Vibratorio	Peligro de arrastre por el material	Radioactivo Microondas
	Paletas rotativas	Nivel alto Fallos por elementos móviles	Paletas rotativas	Nivel alto	
	Microondas	Nivel bajo	Microondas	Nivel bajo	
	De membrana		De membrana		
	Basculante		Basculante		
	Capacitivo	Peligro de arrastre por el material Productos con poca adherencia	Capacitivo	Peligro de arrastre por el material Productos con poca adherencia	
	Radioactivo	Problemas administrativos	Radioactivo	Problemas administrativos	
Almacenamiento	Electromecánico	Grandes silos Fallos mecánicos Granulometría inferior a 3mm	Ultrasonidos	Límite de T <sup>a</sup>	
	Ultrasonidos	Límite de T <sup>a</sup>			

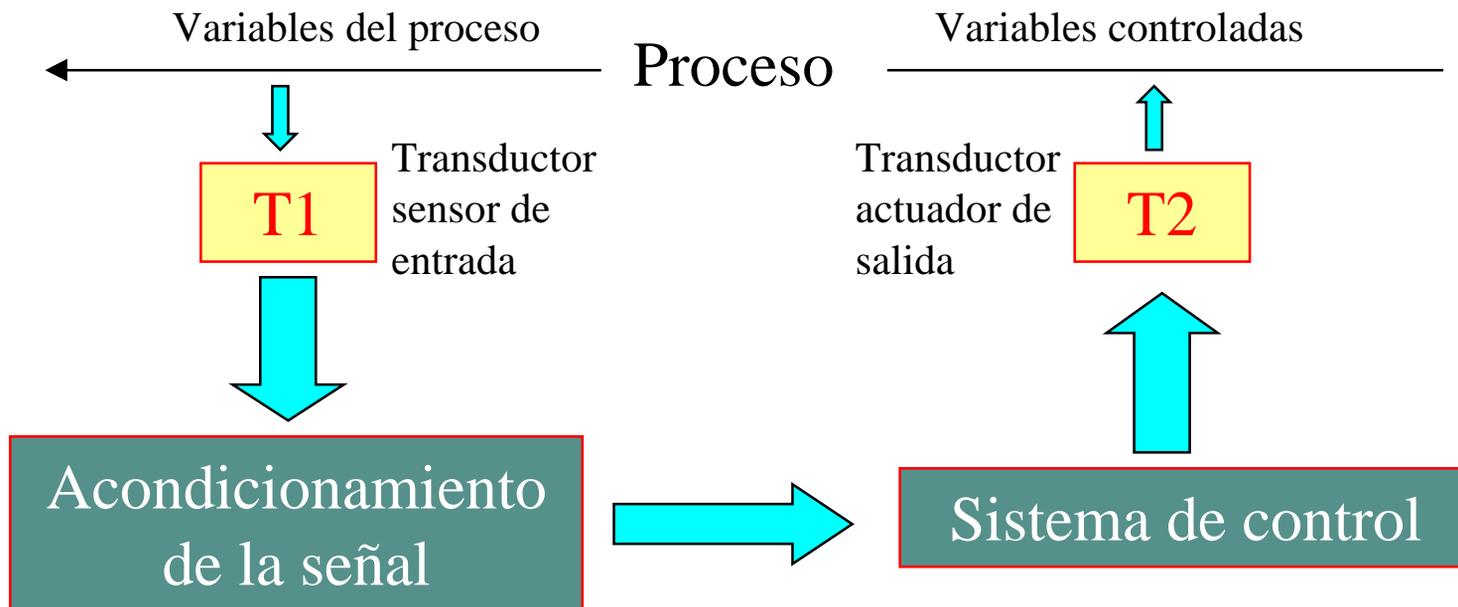


# *Otras variables*

- ▶ Densidad (areómetro)
- ▶ Peso (células de carga)
- ▶ Velocidad (tacómetros)
- ▶ Humedad
  - Aire: bulbo seco y húmedo. Células de CILi
  - Sólidos: infrarrojos
- ▶ Análisis. Cromatógrafos
- ▶ Viscosidad y consistencia
- ▶ pH
- ▶ Oxígeno disuelto
- ▶ Llama
- ▶ Variables químicas
- ▶ Etc.

# *Acondicionamiento de señal (I)*

- Elemento o elementos de un sistema de medida o control que procesan la señal procedente de un transductor bien para adecuarla a un nuevo formato, bien para mejorar su *calidad*.





# *Acondicionamiento de señal (II)*

## *Clasificación*

- **Cambios en niveles de señal**
    - **Amplificación.**
    - **Atenuación.**
    - **Eliminación de *offset***
  - **Linealización.**
  - **Interfase digital**
    - **Multiplexores.**
    - **Muestreo y mantenimiento.**
    - **Conversión A/D.**
    - **Conversión D/A.**
  - **Filtrado y ajuste de impedancia.**
- ## **Conversiones de señales**
- **Conversión corriente/presión.**
  - **Puente de Wheatstone**
- **Transmisión de señal**
    - **Conversión tensión/corriente.**
    - **Conversión corriente/tensión.**
    - **Conversión tensión/frecuencia.**
    - **Modulación.**



# *Acondicionamiento de señal (III)*

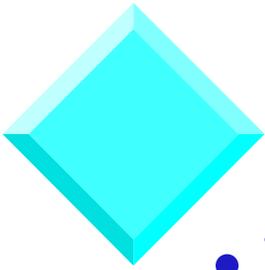
## *Dos formas de implementación*

### • **Analógica**

- Circuitos pasivos (con resistencias, condensadores y bobinas).
- Circuitos activos (con Amplificadores operacionales).
- Menor coste.
- Menor tiempo de procesado.

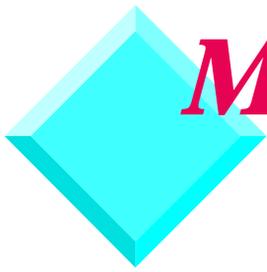
### • **Digital**

- Menor incertidumbre (menor influencia de ruidos, impedancias, etc.).
- Rápido aumento del uso de computadores para medida y control.
- Posibilidad de implementar procesamientos más complejos.
- Siempre es necesario un primer procesado analógico aun cuando la mayor parte del procesado sea digital.



# *Actuadores*

- **Eléctricos**
  - Relés
  - Solenoides
  - Motores CC
  - Motores AC
  - Motores paso a paso
- **Hidráulicos o neumáticos**
  - Válvulas neumáticas
  - Válvulas de solenoide
  - Cilindros y válvulas piloto
  - Motores



# ***Motores de corriente continua***

- Alimentación en continua.
- Devanado inducido en el rotor.
- Muy versátiles.
- Fácil inversión del sentido de giro.
- Amplio rango de velocidades.
- Control preciso de velocidad y posición (**Control por armadura**)
- Posibilidad de frenado regenerativo.
- Baja inercia / baja inductancia → Respuesta rápida.
- Necesidad de conmutación.
- Distintos tipos
  - Según conexión del devanado de excitación (**serie, derivación, compuesto, independiente**).
  - De imán permanente en el estator (tiene escobillas).
  - Motores *Brushless* (conmutación electrónica, necesitan un sensor de posición angular, imán permanente en el rotor).



# ***Motores de corriente alterna***

- Alimentación en alterna (monofásica o trifásica).
- Sin escobillas.
- Tradicionalmente para velocidad constante.
- Variadores de velocidad → **Velocidad variable.**
- El más común → **Motor de inducción de jaula de ardilla.**
- Devanado inducido en el rotor (cortocircuitado) y devanado inductor en el estator.
- Campo magnético rotativo (velocidad de sincronismo que depende del número de polos y de la frecuencia de la alim.).
- Veloc. de giro < Veloc. de sincronismo (**motor asíncrono**)
- Par motor ~ deslizamiento (v. sinc - v. giro).
- El monofásico necesita un devanado auxiliar para arranque.



# *Actuadores neumáticos.*

## *Válvulas de control*

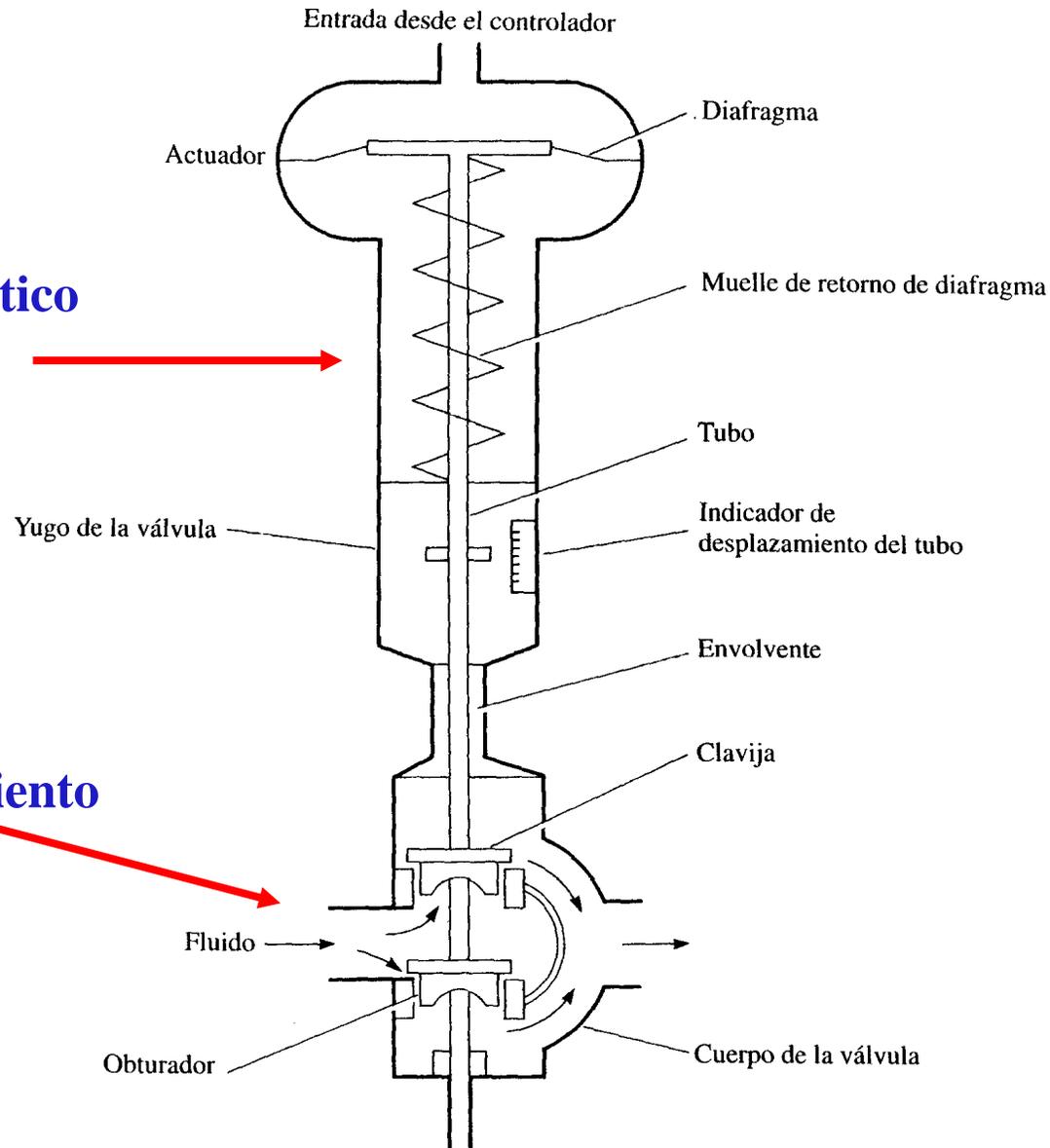
- ▶ Elemento final de lazo de control
- ▶ Interrumpe o deja pasar el fluido según la señal correctora que le llegue desde el controlador
- ▶ Elementos:
  - Cuerpo y partes internas: regulan el paso del fluido
  - Actuador o servomotor: actúa sobre el obturador de la válvula modificando su apertura, en función de la señal que le llega

# Válvula neumática de control

Actuador neumático  
de membrana



Válvula de asiento

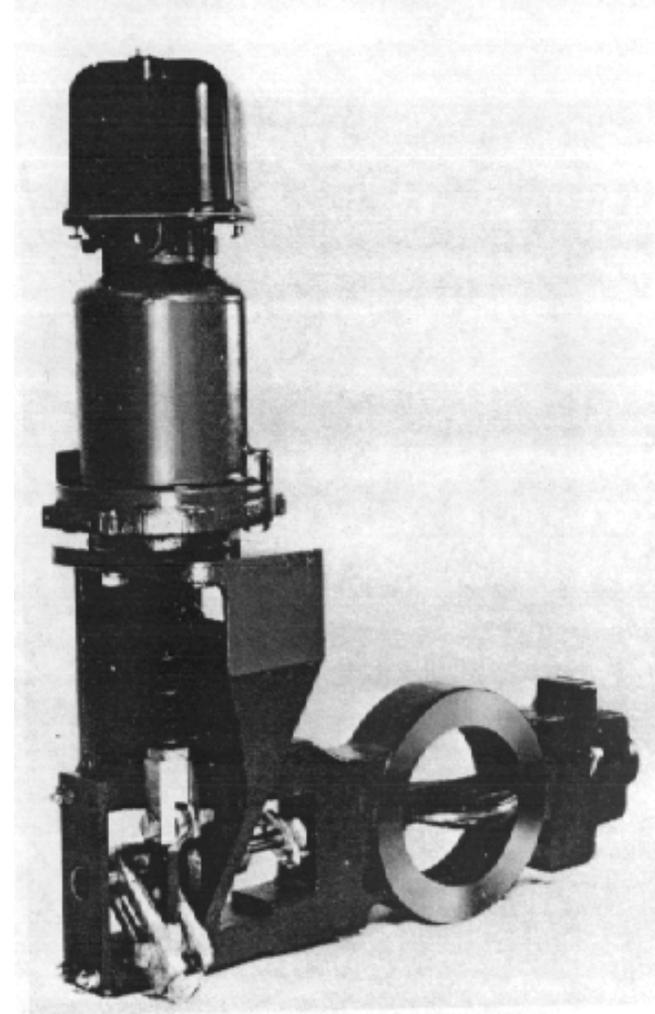




# *Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo*

## **Mariposa:**

- ▶ **Ventajas:**
  - Alta capacidad con baja caída de presión a través de la válvula.
  - Apta para un gran rango de temperaturas, dependiendo del tipo de cierre.
  - Mínimo espacio para instalación.
  - Económica, especialmente en grandes tamaños.
  - Su menor peso le hace más manejable en su mantenimiento.
- ▶ **Desventajas:**
  - Necesita actuadores potentes o de gran recorrido si el tamaño de la válvula es grande o la presión diferencial es alta.
  - No adecuada para “fluidos cavitantes” o aplicaciones de ruido.



Butterfly valve. (Courtesy of Fisher Controls.)



# Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo

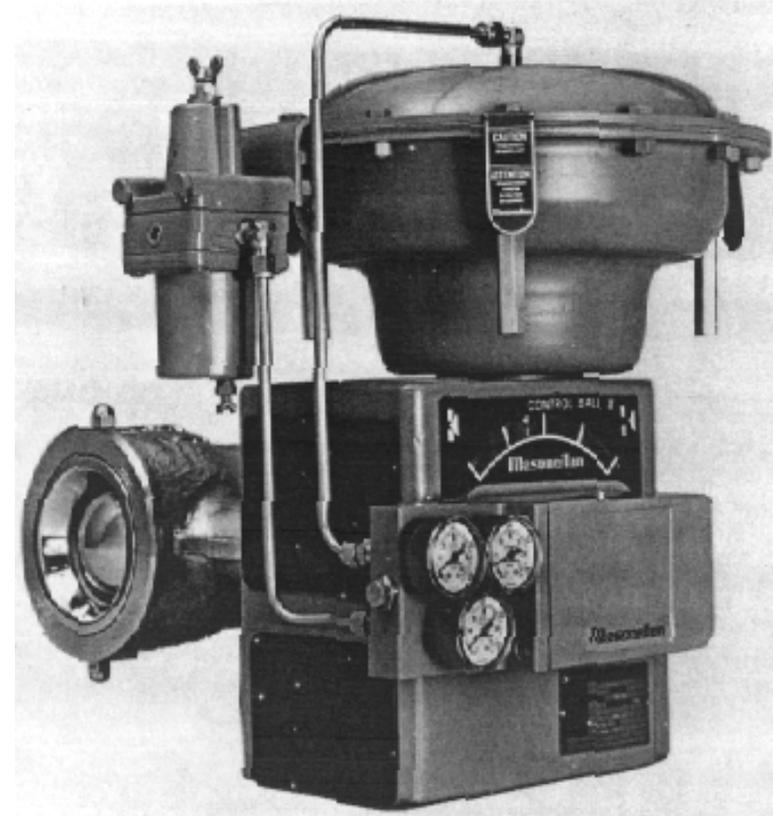
## Bola:

### ▶ Ventajas:

- Excelente control ante fluidos viscosos, erosivos, fibrosos o con sólidos en suspensión.
- Alta rangeabilidad de control (aprox.: 300:1).
- Mayor capacidad que las válvulas de globo.

### ▶ Desventajas:

- Precio elevado.
- No adecuada para “líquidos cavitantes”.
- Puede provocar ruido con caídas de presión altas.

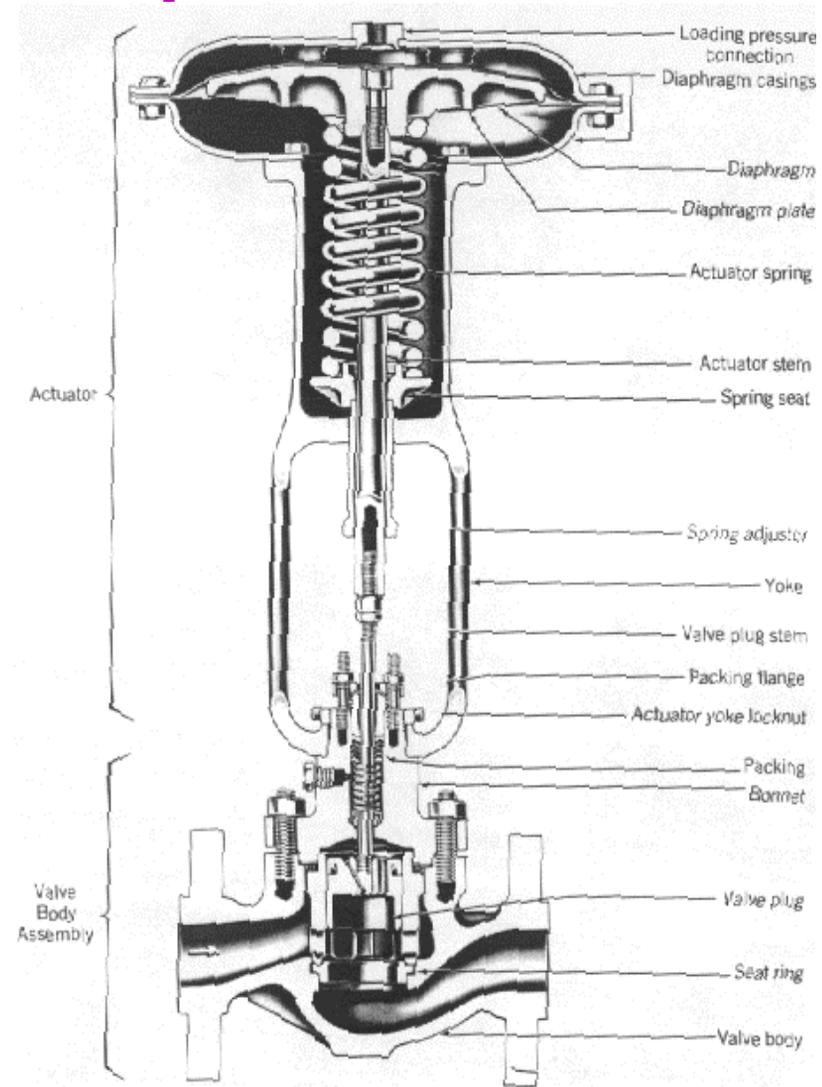


Ball valve with positioner. (Courtesy of Masonilan Division, McGraw-E

# Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo

## Globo:

- ▶ El flujo lo restringe un obturador que se desplaza perpendicularmente al asunto de la válvula.
- ▶ Ventajas:
  - Disponibles en todos los “ratings”.
  - Ampla selección de materiales constructivos.
  - Posibilidad de diversas características de caudal.
  - Partes internas aptas para el tipo de estanqueidad requerida.

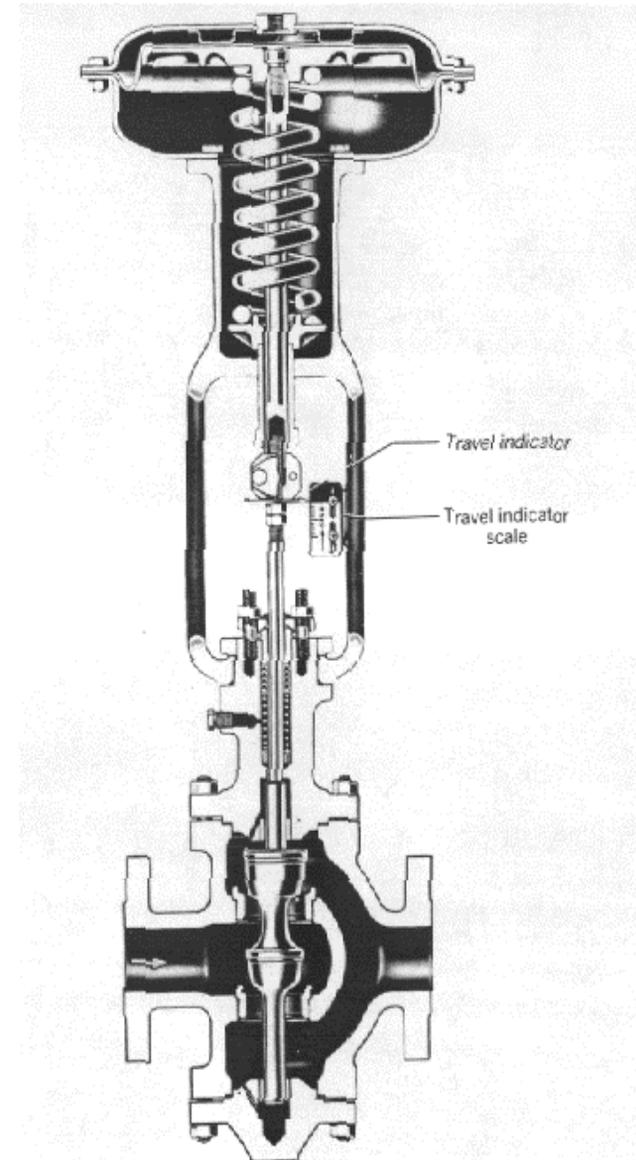


Single-seated sliding stem globe valve. (Courtesy of Fisher Controls.)

# Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo

## Globo:

- ▶ Desventajas:
  - Considerables pérdidas de carga a grandes caudales.
  - Precios más elevados que las válvulas de mariposa en servicios de baja presión y temperatura.
- ▶ Formas constructivas:
  - **Simple asiento:** Óptimos cuando queremos alto nivel de estanqueidad.
  - **Doble asiento:** Permiten trabajar con fluidos a alta presión, con un actuador standard.

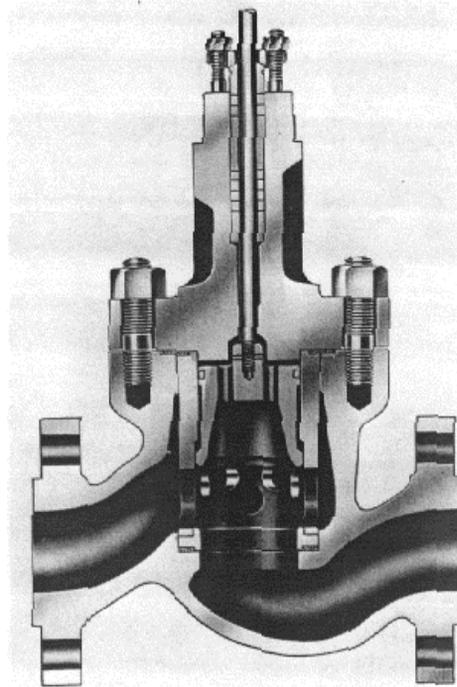


Double-seated sliding stem globe valve. (Courtesy of Fisher Controls.)

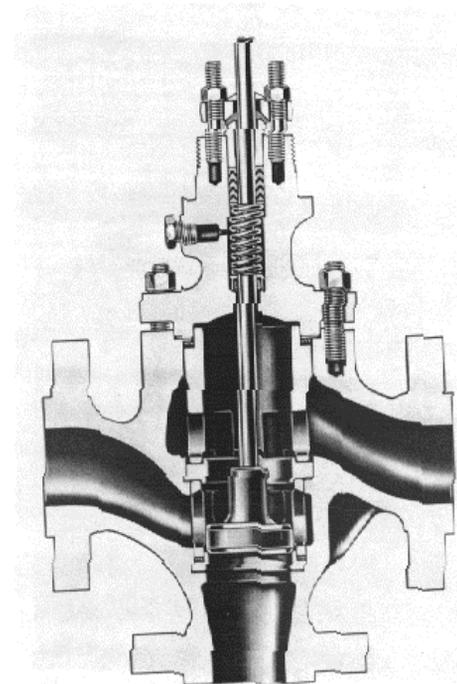
# Clasificación de las válvulas según los tipos de cuerpo

## Globo:

- ▶ Formas constructivas:
  - Caja: El asiento de la válvula esta agujereado.
  - Membrana: Se usa para fluidos muy corrosivos, de alta viscosidad, en la industria alimentaria.
  - Tres vías: Se usa para partir una corriente en dos o unir dos corrientes en una.



Cage valve. (Courtesy of Masonian Division, McGraw-Edison Co.)

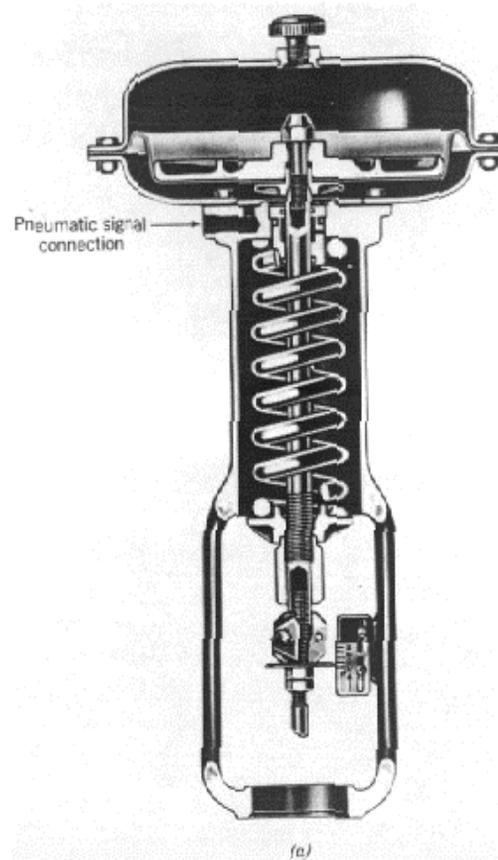


Three-way valve. (Courtesy of Fisher Controls.)

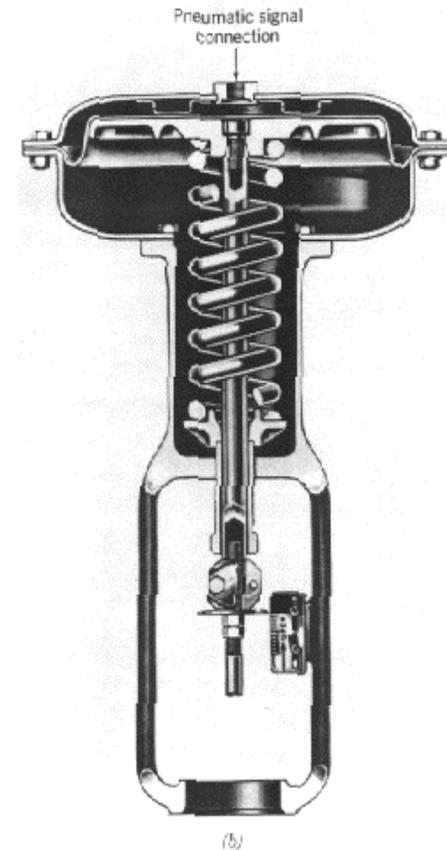
# Actuadores

## A. Neumático de diafragma:

- ▶ Son las más usados en la industria.
- ▶ La señal de presión que llega al actuador desplaza el diafragma venciendo la fuerza del muelle y el movimiento del diafragma es transmitido al obturador a través de un vástago.
- ▶ Dos tipos:
  - **Fallo de aire cierra**
  - **Fallo de aire abre.**



Diaphragm actuator: fail closed, air-to-open.



Diaphragm actuator: fail open, air-to-close.



# *Actuadores*

## **A. Neumático de diafragma:**

### ▶ **Ventajas:**

- **Fiabilidad y simplicidad de diseño.**
- **Usados donde no son requeridos grandes fuerzas.**
- **Económicos.**
- **No necesitan posicionadores.**

### ▶ **Desventajas.**

- **No pueden suministrar grandes fuerzas.**
- **No pueden ser aplicados a válvulas con grandes recorridos.**



# *Actuadores*

## **B. Neumático de pistón:**

- ▶ Consta de un pistón en lugar de un diafragma.
- ▶ Ventajas:
  - Capaces de suministrar grandes fuerzas.
  - Rápida respuesta.
  - Validos para grandes recorridos.
- ▶ Desventajas:
  - Generalmente necesitan sistema de enclavamiento en caso de fallo de alimentación.
  - Para control necesitan posicionador.



# *Actuadores*

## **Eléctricos (electrohidráulicos o electromecánicos)**

### ▶ **Ventajas:**

- No necesitan instalación neumática.
- Mínimo consumo eléctrico.
- Menores costes de instalación y mantenimiento.
- Trabajan directamente con señales eléctricas (no necesitan convertidor)

### ▶ **Desventajas:**

- Precio muy elevado.
- Protección eléctrica necesaria.
- Riesgos de explosión.
- Para control necesitan posicionador.
- Menor potencia específica.
- Más lentos que los neumáticos.
- Posición de seguridad.



# *Elementos accesorios a las válvulas:*

- ▶ **Posicionador:** Compara la señal del controlador con la apertura real de la válvula (carrera del vástago), si no coinciden transmite una señal eléctrica o neumática al actuador.
- ▶ **Filtro manoreductor de aire:** Es un regulador de presión con filtro incorporado. Se utiliza para alimentar al posicionador o convertidor neumático.
- ▶ **Transmisor de posición:** Emite una señal de salida proporcional al recorrido de la válvula. Puede ser neumático o eléctrico.
- ▶ **Convertidor electroneumático I/P.** Convierte la señal eléctrica en neumática.
- ▶ **Interruptor final de carrera:** Es utilizado para indicar eléctricamente la posición de la válvula, así como para operar sobre otros elementos como las válvulas de solenoide.



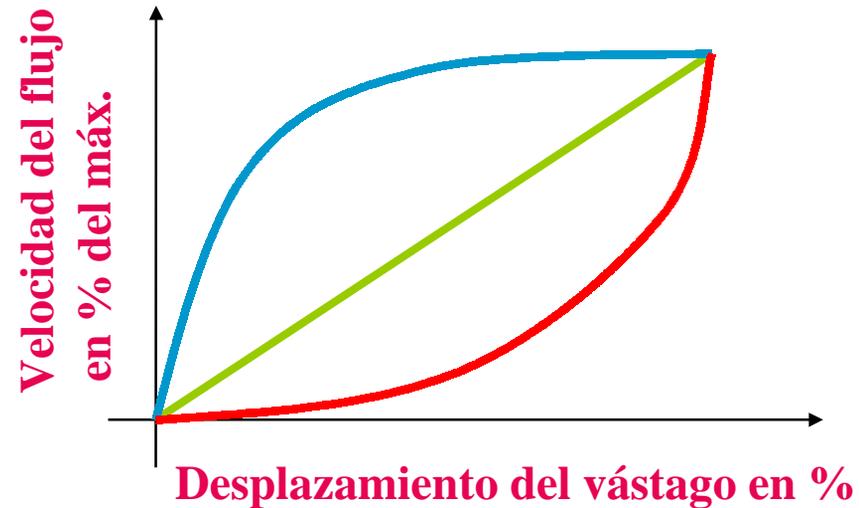
# *Selección de válvulas de control*

- ▶ Datos primarios: necesarios para el cálculo de la sección de paso de la válvula:
  - Propiedades de fluido.
  - Presión antes de la válvula
  - Caída de presión en la válvula.
  - Teoría del fluido: afecta al material de la válvula.
  - Caudal del fluido.
- ▶ Datos secundarios:
  - Nivel de estanqueidad
  - Característica de caudal: relación estructural a presión constante, entre el caudal que atraviesa la válvula y su apertura .

# Selección de válvulas de control

## ► Característica de caudal:

- Características **isoporcentual**: incrementos iguales en el recorrido de la válvula producen cambios en igual porcentaje en el caudal existente.
- Características **lineal**: de capacidad de la válvula varia lineal por con la carrera.
- Característica **todo nada**: El cambio de caudal es máximo a bajos recorridos, siendo luego muy pequeño.





# ***Dimensionamiento***

- ▶ ***K<sub>v</sub>***, coeficiente de caudal o de dimensionamiento de la válvula. Se define como caudal de agua en metros cúbicos por hora a 15°C que pasa a través de la válvula para una apertura dada cuando la presión diferencial es de un bar.
- ▶ Cuando está totalmente abierta: ***K<sub>vs</sub>***. Su valor mínimo es ***K<sub>vo</sub>***. Rangeability ***K<sub>vs</sub>/K<sub>vo</sub>***, relación de caudales que la válvula puede controlar sin perder sus características. Para una isoporcentual suele ser de 50 a 1.
- ▶ ***C<sub>v</sub>***, y es el número de galones USA por minuto de agua a 60° F que pasa a través de una válvula totalmente abierta cuando la presión diferencia es de 1 psi.
- ▶ ***K<sub>vs</sub> = 0.86 C<sub>v</sub>***
- ▶ Dan una idea de la “capacidad” de la válvula
- ▶ Otros factores: Cavitación, Ruidos