

# **10.- INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL**

# INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

- **CONCEPTOS PRELIMINARES APLICABLES A LAS MEDICIONES**
  - **INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA**
  - **INSTRUMENTOS DE PRESIÓN**
  - **INSTRUMENTOS DE NIVEL**
  - **INSTRUMENTOS DE CAUDAL**
  - **ANALIZADORES**
  - **ELEMENTOS FINALES DE CONTROL**
  - **SISTEMAS DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS**
-

# MEDICION

Es el conjunto de operaciones que tiene por finalidad determinar el valor de una magnitud

Es determinar la dimensión de la magnitud de una variable en relación con una unidad de medida preestablecida y convencional.

Dicha medición puede ser:

- **Medición directa**

Cuando disponemos de un instrumento de medida que la obtiene comparando la variable a medir con una de la misma naturaleza física.

- **Medición indirecta**

Es aquella que realizando la medición de una variable, podemos calcular otra distinta, por la que estamos interesados.

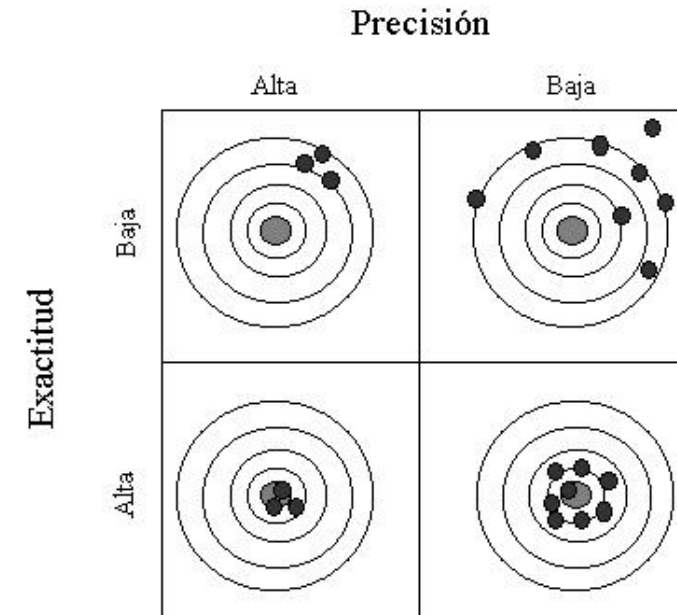
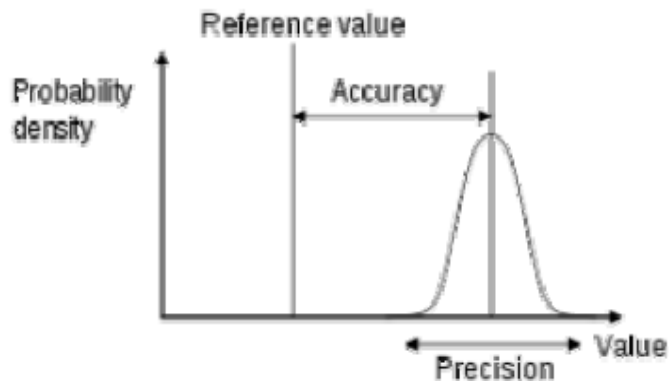
*Al resultado de medir lo llamamos Medida.*



# Precisión y Exactitud

**Precisión:** se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.

**Exactitud:** se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido.

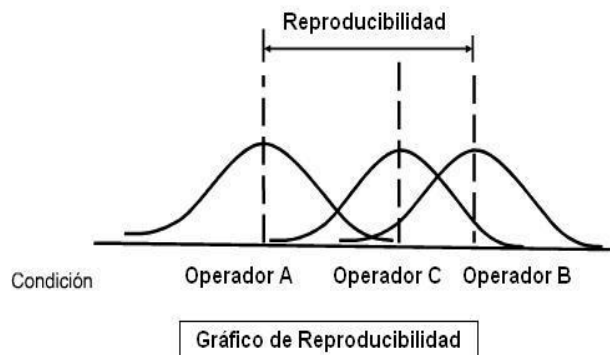


El **error de medición** se define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero.

# REPRODUCIBILIDAD

Indica el grado de acuerdo entre resultados mutuamente independientes de una medición del mismo producto y con el mismo método, obtenida en distintos instrumentos y con diferentes operadores.

¿Existe variación en el instrumento y/o en el evaluador?



# REPETIBILIDAD

Indica el grado de acuerdo entre resultados mutuamente independientes de una medición, del mismo producto, obtenida con el mismo instrumento y el mismo operador, en repetidas oportunidades en un corto intervalo de tiempo

¿Existe variación en el instrumento?

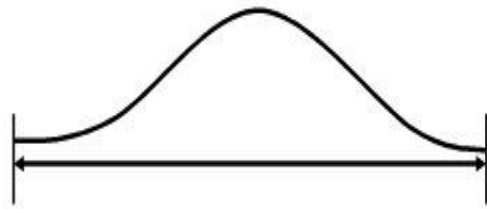
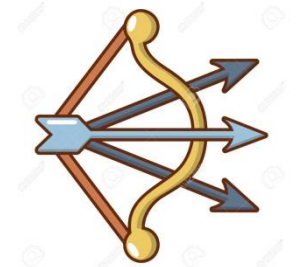
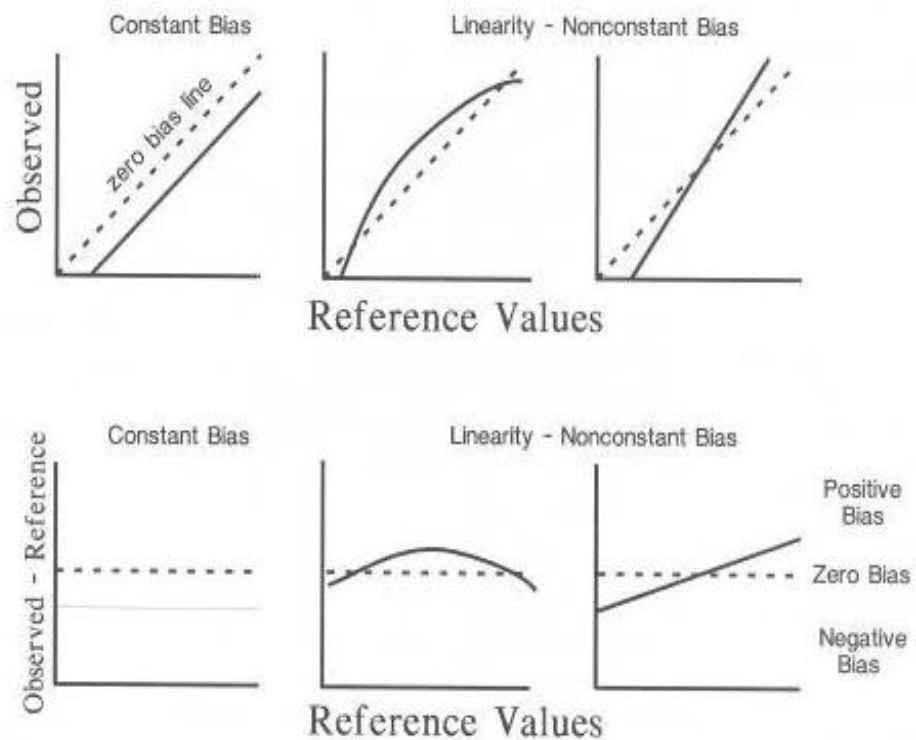


Gráfico de Repetibilidad

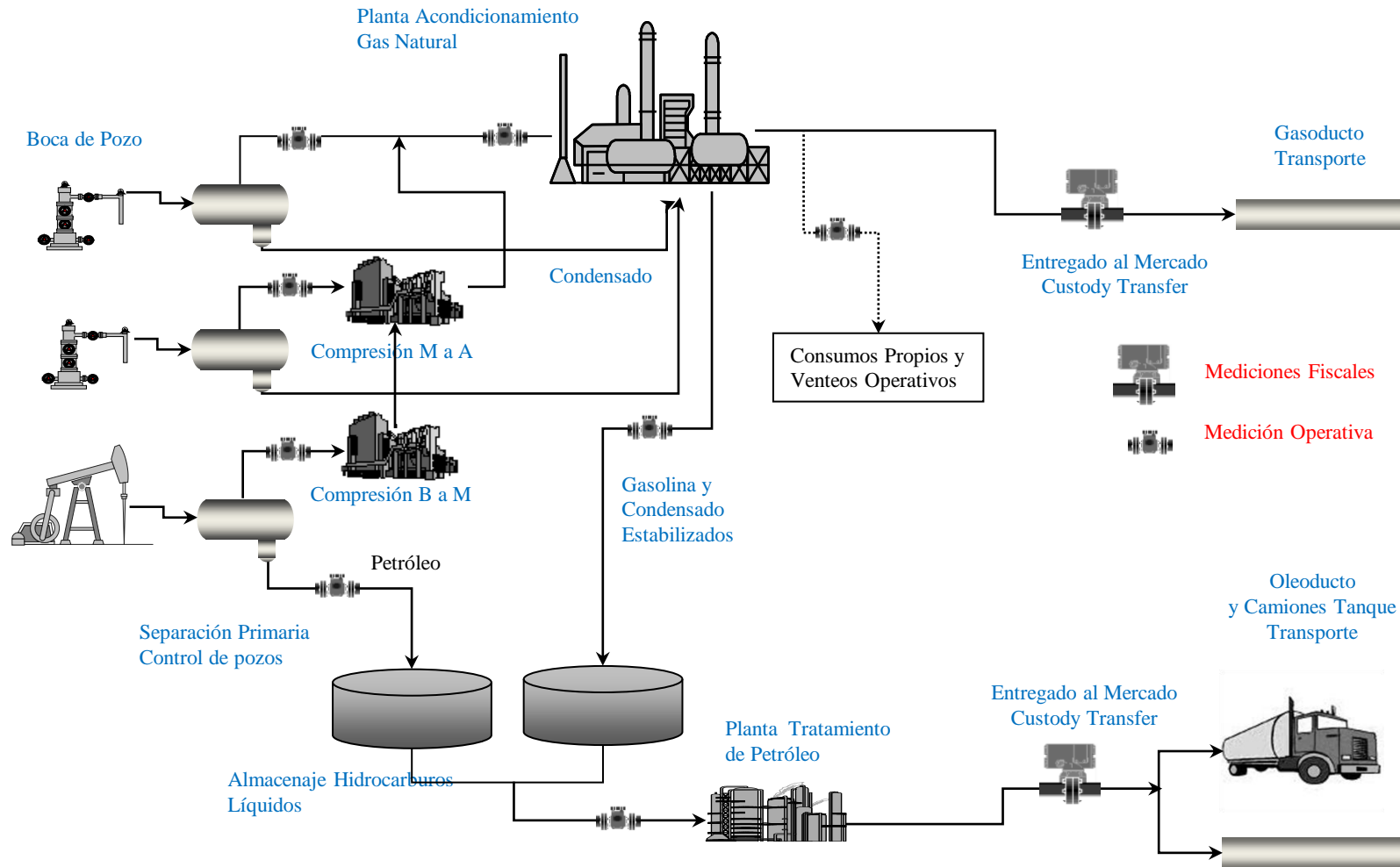


# LINEALIDAD

Expresa el grado de coincidencia entre la curva de calibración y una línea recta determinada.



# Mediciones Cadena del Upstream de los HC





# *PARAMETROS DE MEDICION*

## *Temperatura:*

La temperatura de un cuerpo es un estado térmico, considerado con referencia a su posibilidad de transmitir calor a otro cuerpo.

Mediante el empleo de distintas sustancias termométricas se puede individualizar el estado térmico de una sustancia, mediante la indicación de un número relacionado con una determinada escala de temperatura.

La temperatura absoluta es el valor de la temperatura medida con respecto a una escala que comienza en el cero absoluto.

Las unidades comúnmente utilizadas son Kelvin [K] y los grados Celsius [ $^{\circ}$  C], aunque existen otras como los grados Fahrenheit [ $^{\circ}$  F] y Rankine [R]; según sea el origen del sistema de medidas utilizado.

# INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA

Los instrumentos más utilizados para medición de temperatura:

- **Termómetro Bimetálico**

Principio de medición: diferencia de dilatación de dos metales disímiles.

Uso habitual: para indicación local.

- **Termorresistencia ('Resistance Temperature Detector' o RTD).**

Principio de medición: diferencia de resistencia eléctrica de un metal.

Uso habitual: para transmisión remota.

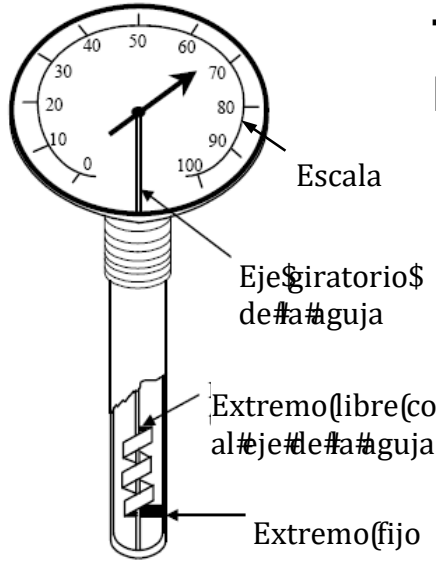
- **Termocupla.**

Principio de medición: diferencia de voltaje generada entre dos metales disímiles.

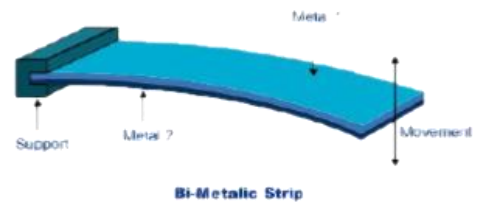
Uso habitual: para transmisión remota.

Todos estos instrumentos van insertos dentro de termovainas

# INSTRUMENTOS DE TEMPERATURA (cont.)



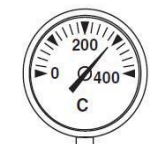
**Termómetro Bimetálico**



© 2010 Chipkin Automation Systems Inc.

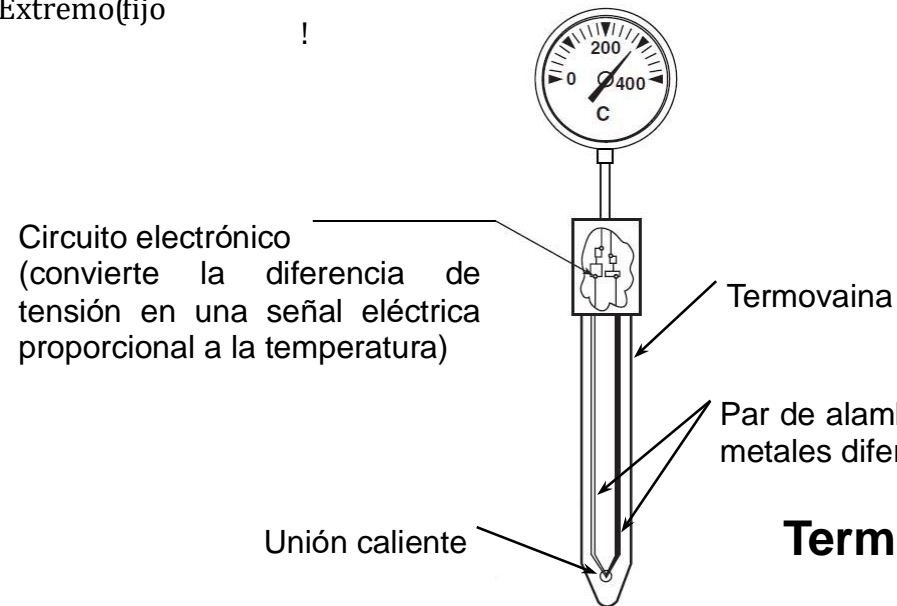


**Termorresistencia**

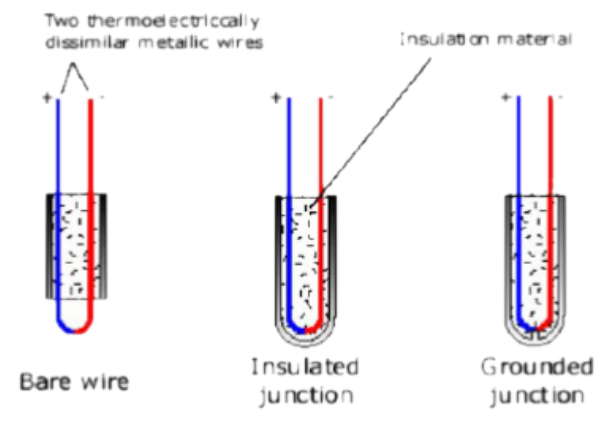


Circuito electrónico (convierte la variación de resistencia en una señal eléctrica proporcional a la temperatura)

Alambre metálico cuya resistencia se mide (de platino o níquel)



**Termocupla**



# PARAMETROS DE MEDICION

## *Presión:*

Se define como la fuerza ejercida por un fluido, por unidad de área de la superficie que lo encierra.

La medición de la presión nos ayuda a definir el estado del fluido y a determinar el trabajo hecho sobre un fluido o por el fluido, si hay movimiento de éste.

Si bien existen dispositivos capaces de medir la presión absoluta de un gas (Barómetros), los más sencillos y de uso habitual miden la presión por sobre la atmosférica (Manómetros),

La presión atmosférica en un punto coincide numéricamente con el peso de una columna estática de aire de sección recta unitaria que se extiende desde ese punto hasta el límite superior de la atmósfera

Las unidades comúnmente utilizadas son el [Bar] y el [kg/cm<sup>2</sup>], aunque existen otras como [psi], [atm], [mmHg], [Pascal], etc.; según sea el origen del sistema de medidas usado o el rango y precisión a medir.

# MEDICION DE PRESIÓN

**PRESIÓN ABSOLUTA.**- Es la presión de un fluido medida con referencia al vacío perfecto a la presión absoluta equivalente a cero.

La presión absoluta es cero únicamente cuando no existe choque entre las moléculas.  $P(\text{ABS}) = P(\text{MAN}) + P(\text{ATM})$

Este término se creó debido a que la presión atmosférica varía con las altitudes con respecto al mar.

**PRESIÓN ATMOSFÉRICA (BAROMÉTRICA).**- Es la presión ejercida por la atmósfera sobre la tierra. La presión atmosférica al nivel del mar es de 14.7 lb/in absolutas o de 29.9 in (760mm de Hg absoluta).

¿Qué sucede si aumenta la altura sobre el nivel del mar con respecto a la presión atmosférica?

**PRESIÓN MANOMÉTRICA.**- Es la presión que se registra en un manómetro y son normalmente superiores a la atmosférica, este manómetro define la diferencia entre la presión desconocida y la presión atmosférica que existe.

**PRESIÓN DE VACÍO.**- Se refiere a las presiones manométricas menores que la atmosférica, se mide por la diferencia entre el valor desconocido y la presión atmosférica existente.  $P(\text{ABS}) = P(\text{ATM}) - P(\text{VACÍO})$

**PRESIÓN DIFERENCIAL.**- Es la diferencia entre 2 presiones medidas, tal como le corresponderá a la entrada y salida de una línea de proceso.



# INSTRUMENTOS DE PRESIÓN

Los instrumentos más utilizados para medición de presión:

- **Manómetro de Bourdon**

Principio de funcionamiento: deformación de un metal.

Uso habitual: para indicación local.

- **Sensor piezorresistivo** \* (o transductor)

Principio de funcionamiento: diferencia en la resistencia eléctrica

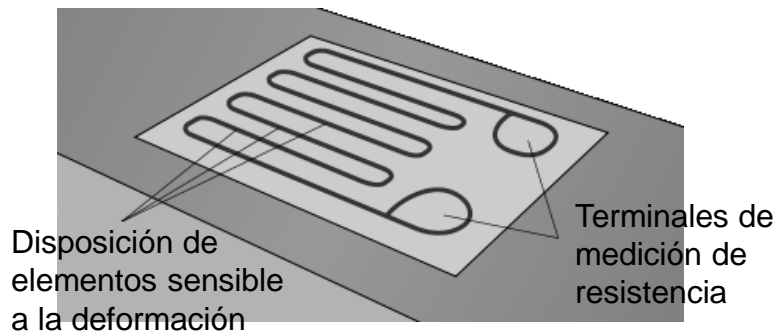
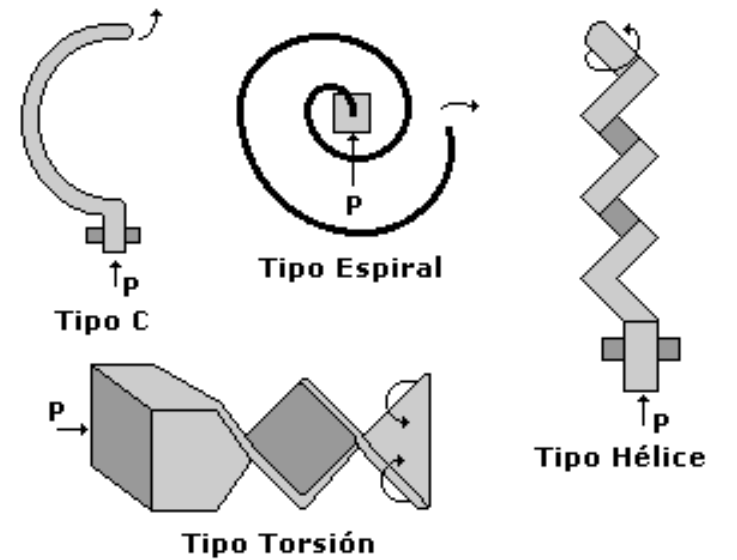
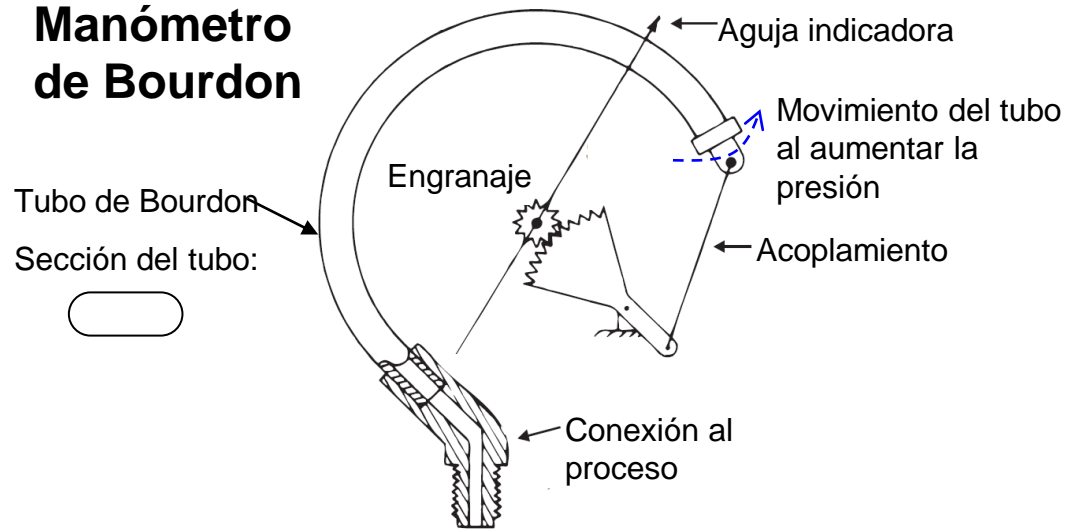
Uso habitual: para transmisión remota.

Ambos miden presión relativa (una variante de transductores puede medir presión absoluta).

\* Hay variantes de este tipo de instrumento que en lugar de medir el cambio en la resistencia miden la variación en otra propiedad eléctrica (capacitancia, propiedades electro-magnéticas, efecto piezoeléctrico). También se los llama transductores.

# INSTRUMENTOS DE PRESIÓN (cont.)

## Manómetro de Bourdon



Elemento piezorresistivo (cables delgados sobre un soporte de poco espesor)



Diafragma con elemento piezorresistivo adherido

## Transductor Piezorresistivo

# *PARAMETROS DE MEDICION*

## *Unidad de volumen de gas:*

La unidad de volumen del gas natural, para los fines de la medición, es el metro cúbico standard [m<sup>3</sup> s] medido a 15° C (288,15 Kelvin) de temperatura y 101,325 kPa (1,01325 Bar o 1 Atmósfera) de presión.

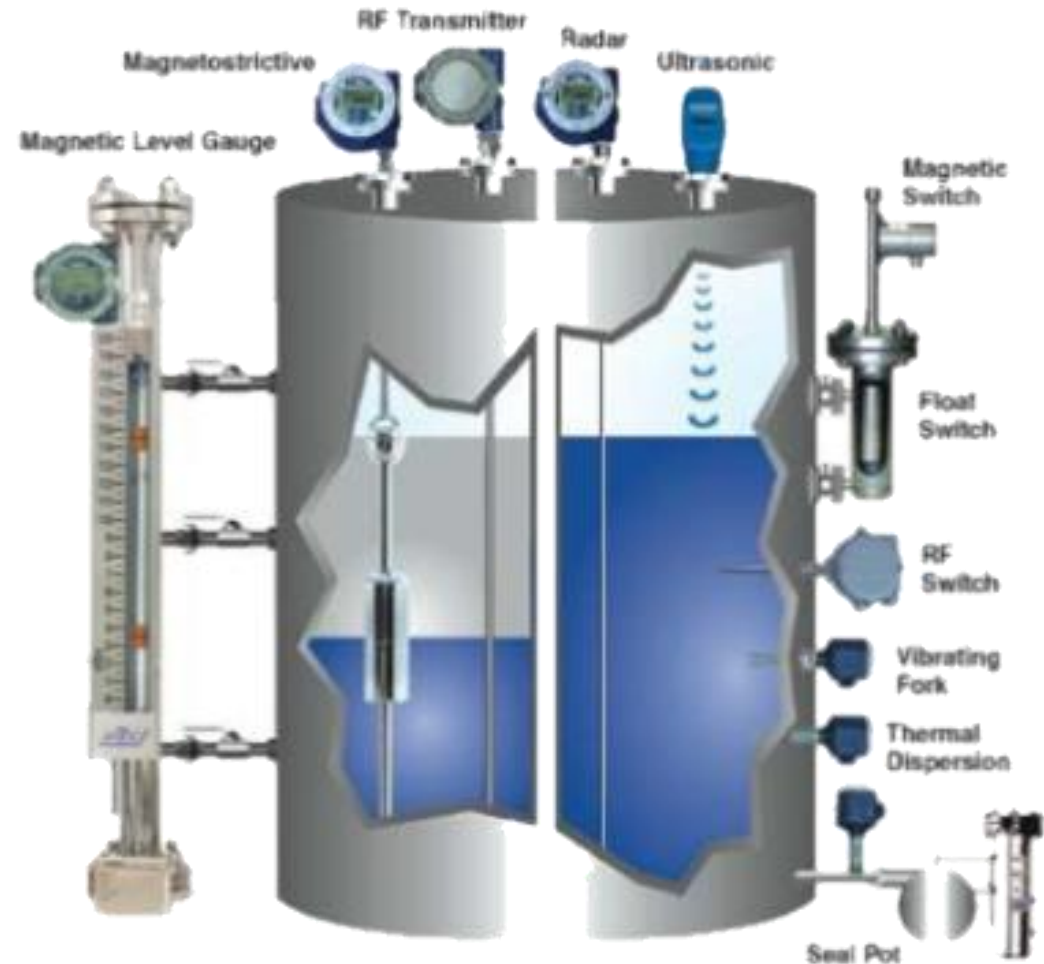
El volumen de gas entregado a los fines de la facturación y en conformidad con la Ley N° 24076 – Marco Regulatorio de la Industria del Gas, será la cantidad de metros cúbicos en condiciones standard multiplicada por el poder calorífico superior de gas entregado, expresado en Kilocalorías, y dividido por 9.300

*Nota: 1,01325 Bar = 14,696 psi y 15,56° C = 60° F  
1 m<sup>3</sup> = 35,3147 PC*



# Medición de Nivel

- Regla invertida
- Visor de Nivel de vidrio
- Presión Diferencial
- Desplazador a Flotante
- Magnético
- Radar
- Servo
- Microondas



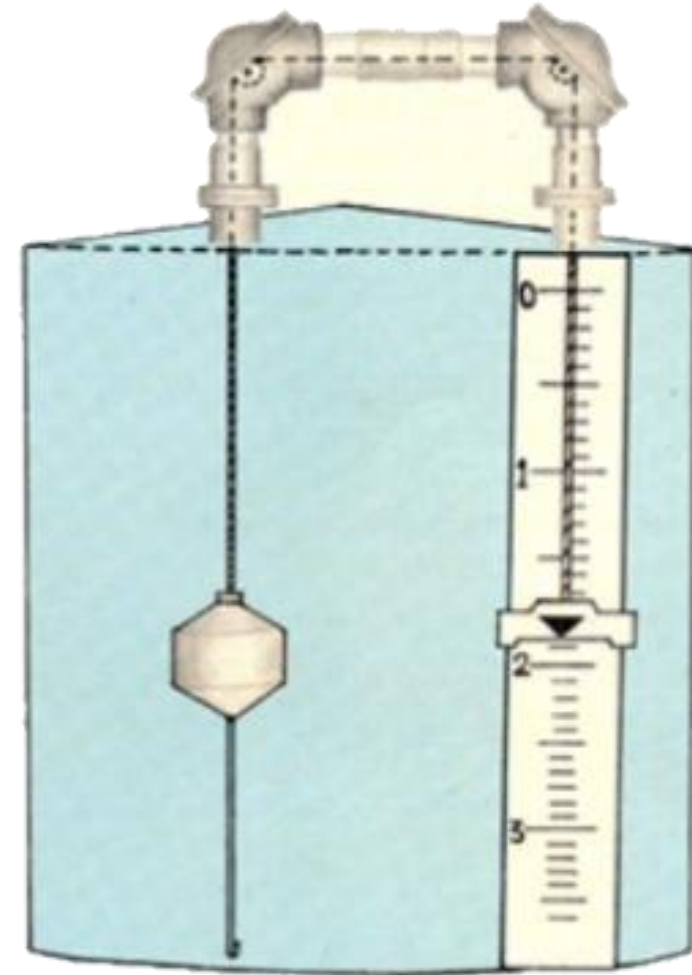
# Medición de Nivel

## Medidor tipo Regla Invertida

Se utiliza cuando el nivel del recipiente se desea indicar localmente sobre una escala.

Está compuesto por un flotador, un cable, poleas, una escala y un indicador. El flotador está conectado por medio de un cable, a través de un sistema de poleas, a un peso con una aguja indicadora, la cual indicará sobre una escala previamente calibrada el nivel del recipiente.

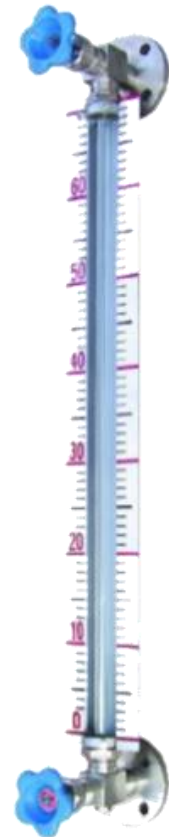
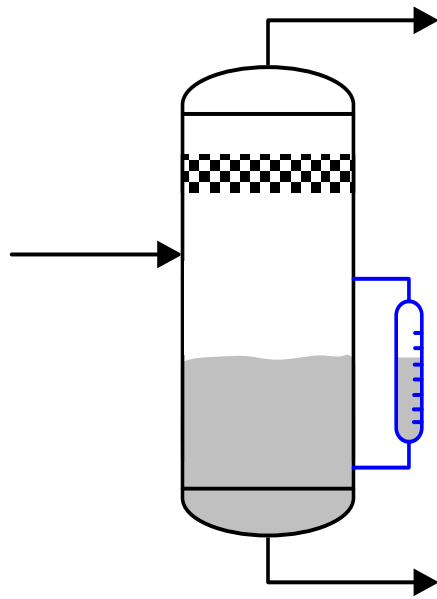
Es de hacer notar que la indicación es inversa



# INSTRUMENTOS DE NIVEL

## Visor de nivel:

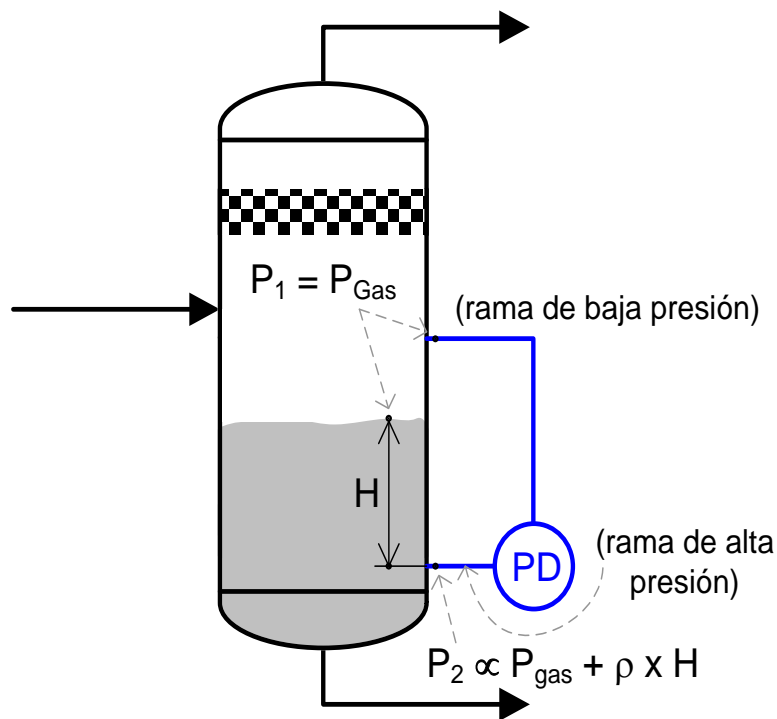
El nivel de líquido dentro del visor es igual al nivel dentro del recipiente (funcionan como vasos comunicantes) □ permite leer el nivel de líquido dentro del recipiente en forma directa.



## INSTRUMENTOS DE NIVEL (cont.)

### Presión diferencial:

Se obtiene el nivel por una medición de diferencia de presión, calculando el nivel equivalente conociendo la densidad del líquido



Colaboración de Sollertia SA

- Se utilizan transmisores de presión diferencial (**PD**) – un sensor piezorresistivo de presión, con un lado del diafragma en contacto con la rama de alta presión y el otro lado con la rama de baja presión.

$$\text{Rama de baja presión: } P_1 = P_{Gas}$$

$$\text{Rama de alta presión: } P_2 \propto P_{Gas} + \rho \times H$$

$$\text{Diferencia de presión: } \Delta P = P_2 - P_1 \propto \rho \times H$$

- **Se calibran en base a una densidad de líquido determinada (si cambia  $\Rightarrow$  afecta la medición).**

## INSTRUMENTOS DE NIVEL (cont.)

### Presión diferencial (cont.):

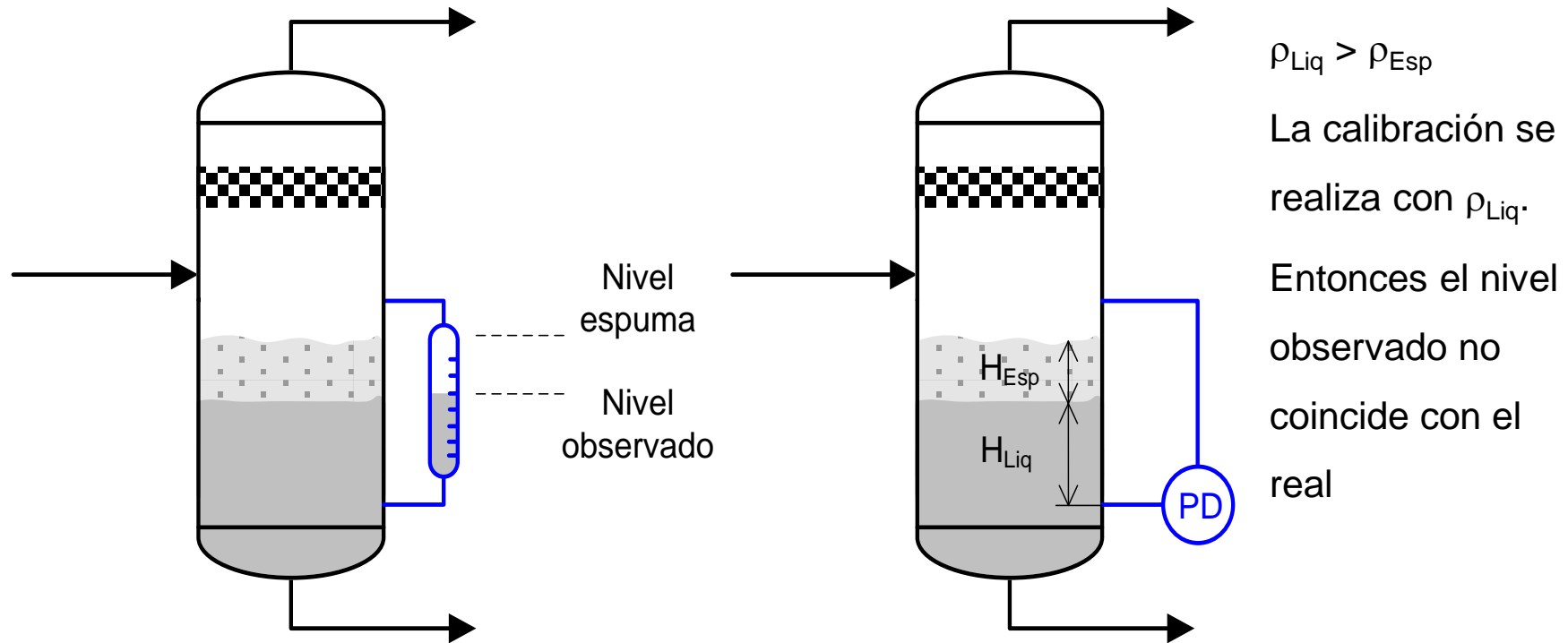
- Si condensa líquido dentro de la rama de baja presión □ la medición se distorsiona (- recordar que es gas en equilibrio: enfriamiento dentro del tubing de conexión largo □ condensación -).
- Se utilizan sellos remotos: transmiten la presión sin que el fluido ingrese a las ramas del sensor de presión diferencial.



## INSTRUMENTOS DE NIVEL (cont.)

### Formación de espuma (visores de nivel y medidores por presión diferencial):

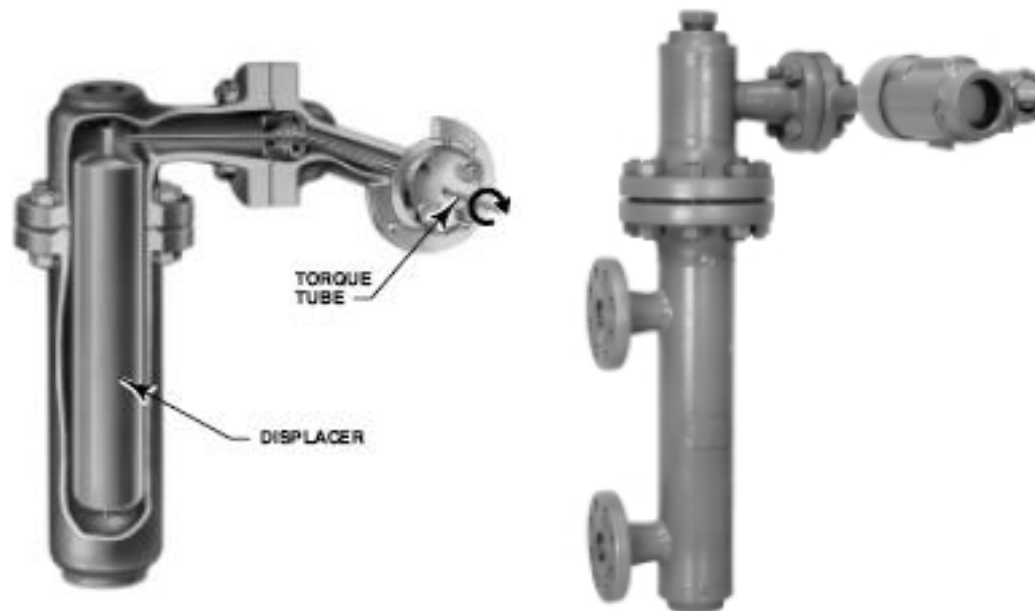
Según la ubicación de las tomas, el nivel medido puede verse afectado si se forma espuma.



Nota: sucede lo mismo si se acumula hidrocarburo líquido (liviano) sobre agua □ el nivel total medido es menor al nivel real.

## INSTRUMENTOS DE NIVEL (cont.)

**Flotante / desplazador:** Consta de un flotante / desplazador semi-sumergido conectado por una varilla a un brazo que mide la palanca o torque que genera el empuje del fluido en el flotante al variar el nivel.

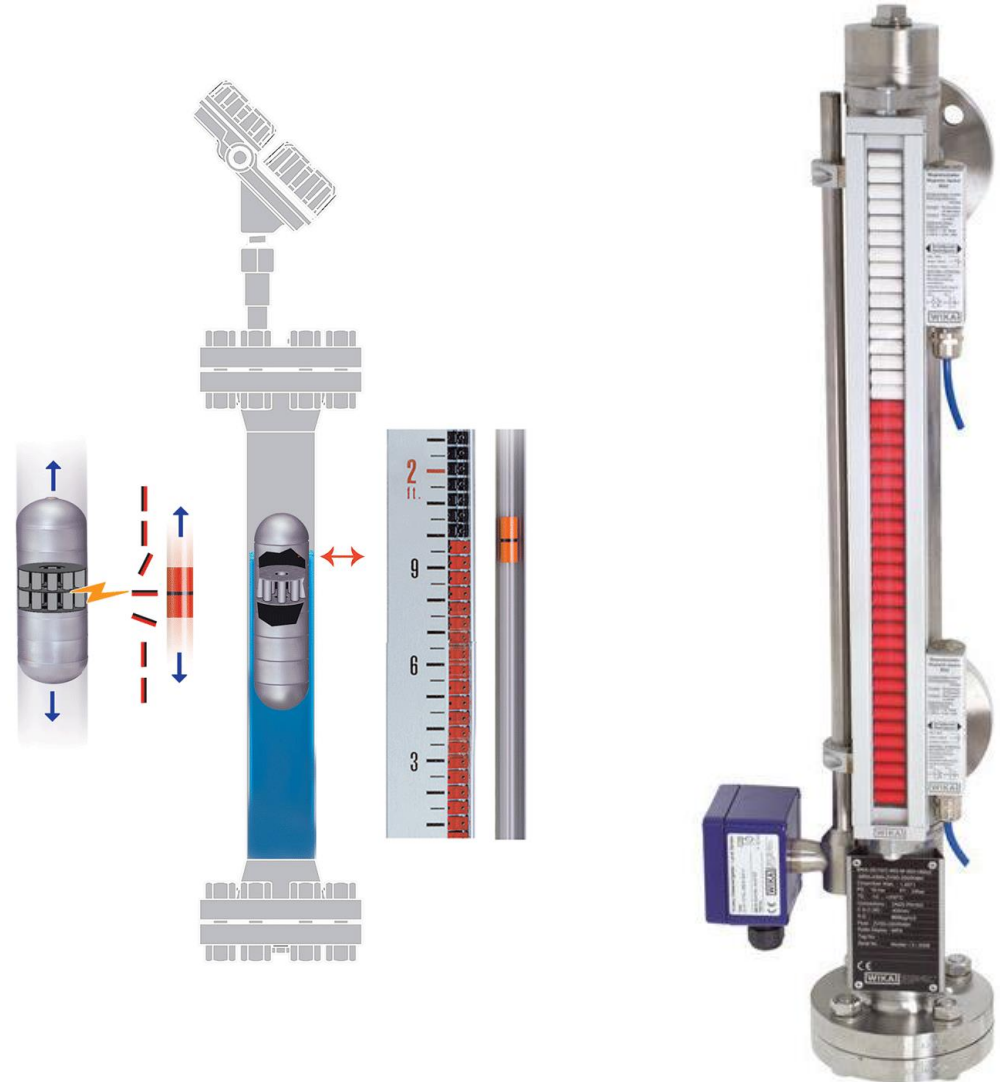


- *Se calibran en base a una densidad de líquido determinada (si cambia  $\Rightarrow$  afecta la medición).*

# Medición de Nivel

## Indicador Magnético

Un sistema de imán integrado en el flotador transmite el nivel del líquido sin que se produzca contacto alguno con el indicador dispuesto en el exterior.





# Medición de Nivel

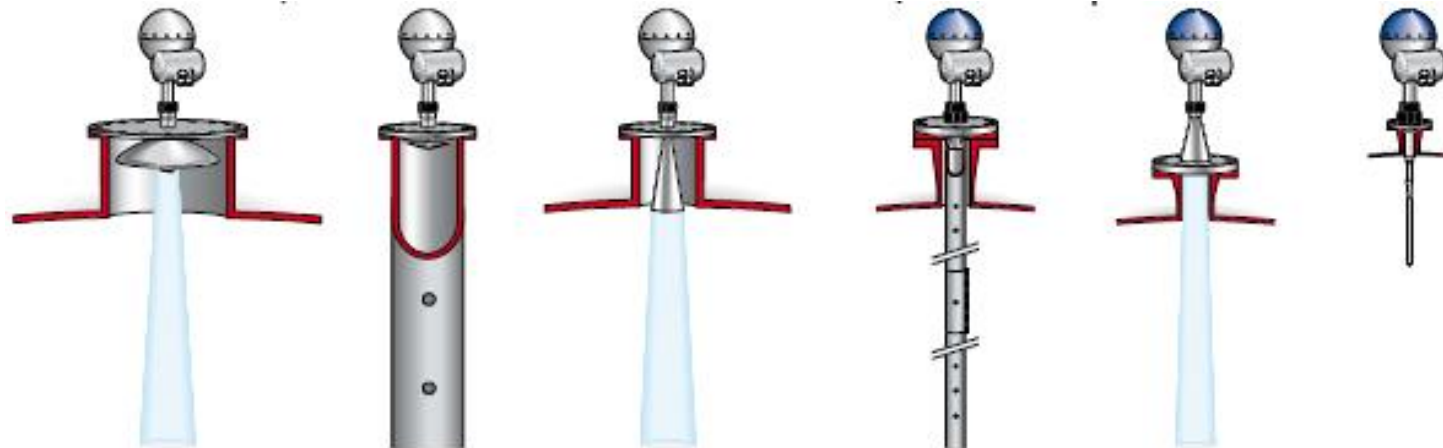
## Medidor Tipo Radar

Se basan en emisores de pulsos de energía electromagnética la cual es reflejada en parte por la superficie del líquido.

Una vez que la señal de radar se refleja en la superficie líquida, el eco es captado por la antena.

Dado que la señal varía en frecuencia, el eco tiene una frecuencia ligeramente diferente a la de la señal transmitida en ese momento.

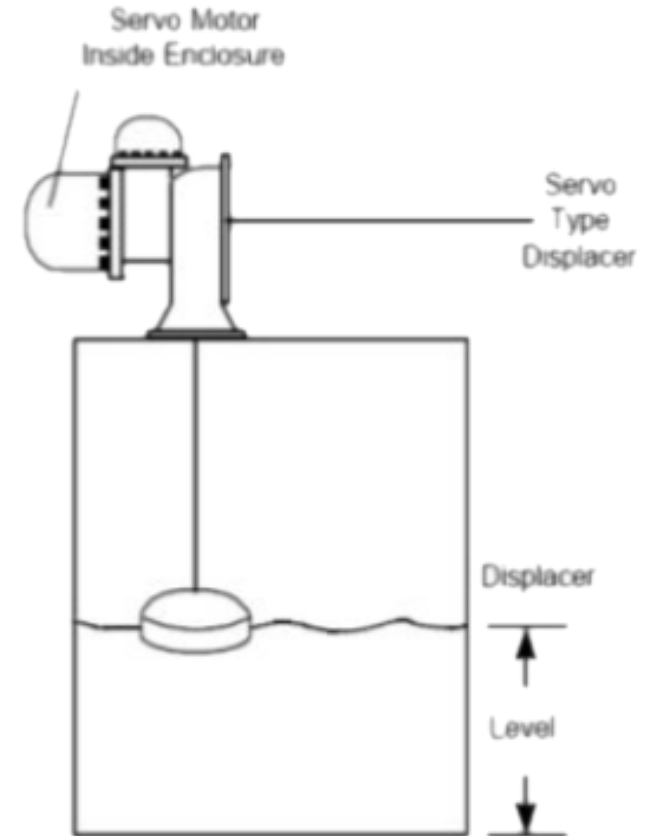
La diferencia de frecuencia es proporcional a la distancia al líquido, y se puede calcular con precisión.



# Medición de Nivel

## Medidor de nivel servo

Funcionan en base a un desplazador que está suspendido de un alambre de edición, el cual se enrolla en un tambor que está vinculado a un transductor de fuerza que controla el peso de dicho desplazador e informa la posición del mismo.



# Medición de Nivel

## Medidores de Nivel de Interfase Tecnología Microondas

Trabajan conforme al principio de las microondas guiadas y permiten la medición de nivel y nivel/interfase.

La medición no se ve afectada por las condiciones del proceso, altas temperaturas, altas presiones ni vapores.



# *PARAMETROS DE MEDICION*

## *Caudal:*

Es una medida de la cantidad de fluido en movimiento, circulando por un conducto, en la unidad de tiempo.

La cantidad medida generalmente es el volumen de un gas en condiciones standard de presión y temperatura, o bien el volumen de un líquido.

Las unidades comúnmente utilizadas son el metro cúbico standard por hora [ $m^3_s/h$ ] y por día [ $m^3_s/d$ ], aunque existen otras como el pie cúbico standard por hora [SPC/h] y por día [SPC/d] ; según sea el sistema de medidas utilizado.

## CAUDALÍMETROS - Generalidades

La **selección** debe estar orientada por:

- tipo de fluido (sólidos, viscosidad, conductividad, corrosividad, erosión)
- exactitud requerida
- rango de caudales a medir
- repetibilidad de la medición
- facilidad de mantenimiento
- facilidad de calibración
- costos

La **instalación** debe ser de acuerdo a las instrucciones del proveedor y en el caso de mediciones fiscales, a las normas o requerimientos contractuales de entrega de producto.

- incluyendo filtros según requerimiento
- respetando sentido de flujo y posición (vertical – horizontal)
- manteniendo los tramos rectos requeridos antes y después
- soportando adecuadamente

## CAUDALÍMETROS - Generalidades

La **operación** debe tener en cuenta:

- rangos de caudal para cumplir con la exactitud requerida (puede lograrse con dos caudalímetros en paralelo)
- estabilidad en los valores de presión, temperatura y caudal

La **calibración** debe ser hecha en laboratorio y preferentemente controlada en campo.

Son los elementos más importantes de una **medición fiscal**, mediante la cual se controla la entrega de producto. Para ello se usan generalmente **Tramos de Medición con Placas Orificio**, para gases, y **Unidades LACT** para líquidos

# CAUDALÍMETROS

	Principio	Medidor
<b>Medidores de flujo volumétrico</b>	Presión diferencial	<b>Placa Orificio</b>
		Tobera
		Tubo Venturi
		V-Cone
		Tubo Pitot y Tubo Annubar
	Área variable	Rotámetros
	Velocidad	<b>Turbina</b>
		<b>Ultrasonido</b>
Tensión inducida	<b>Magnético</b>	
Desplazamiento positivo	Rueda oval, helicoidal	
<b>Torbellino (Vortex)</b>	Medidor de frecuencia	
<b>Medidores de flujo másico</b>	Térmico	Diferencia de temperatura en sondas de resistencia
	<b>Coriolis</b>	Tubo en vibración

# PLACA ORIFICIO

Es el elemento primario mas típicamente utilizado en la medición de gas natural. Es económico. Se suelen usar los modelos que permiten intercambiar la placa bajo presión (Daniel Senior o similar)

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Bernoulli: Cambio de velocidad → Cambio de Presión

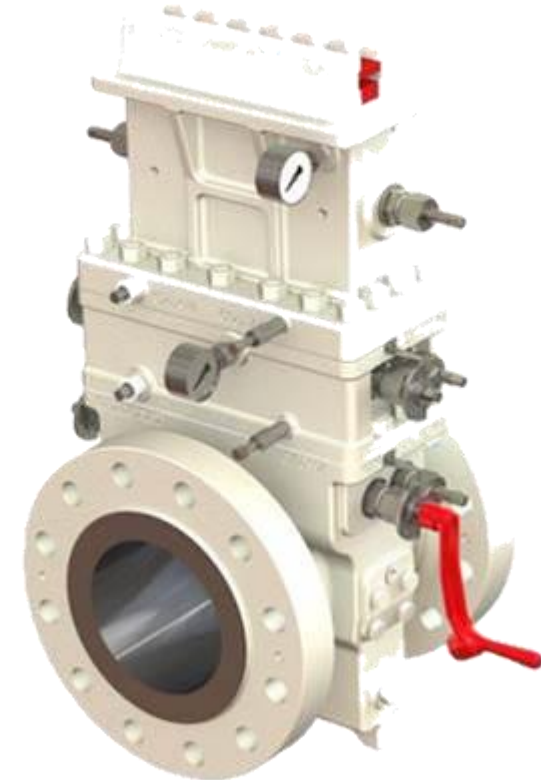
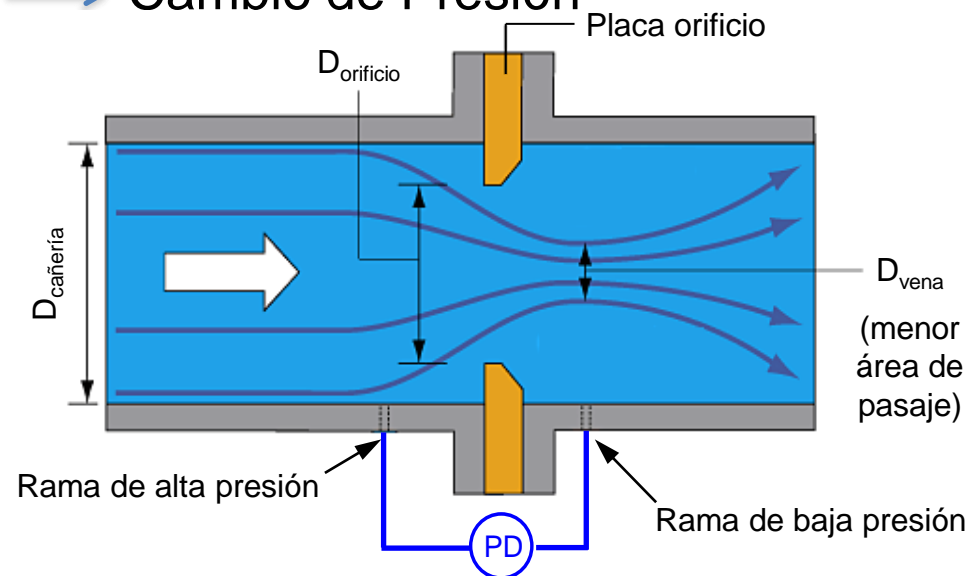
## FÓRMULA

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

**Q:** Caudal de Gas

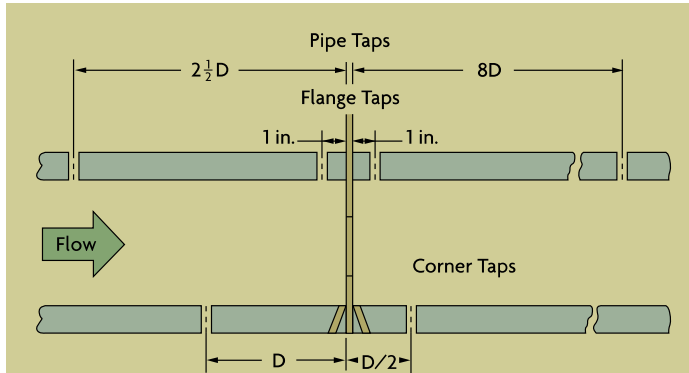
**K:** (ver AGA 3) Coeficiente función de las propiedades del gas, de la P y la T, y de  $\beta = \text{diám del orificio} / \text{diám del caño}$

**$\Delta P$**  : diferencia de presión entre tomas

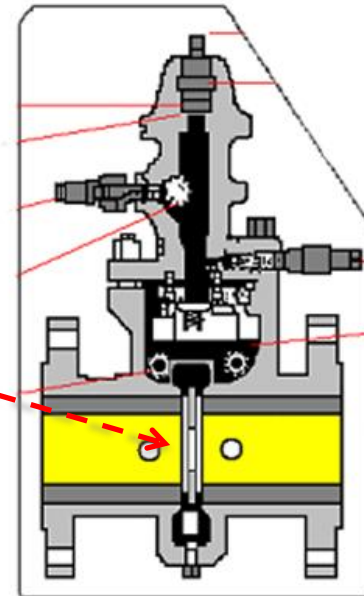
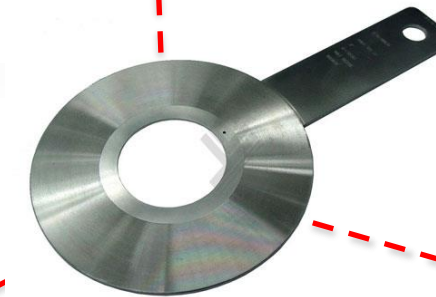
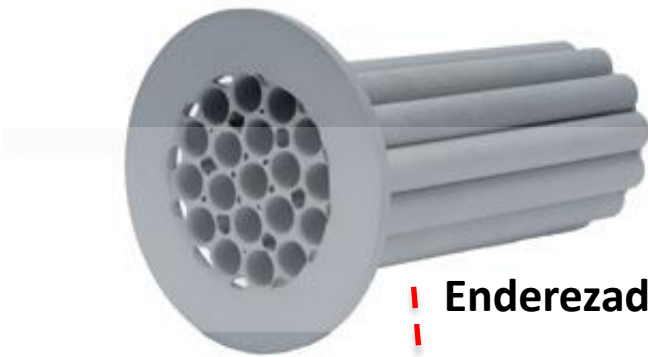




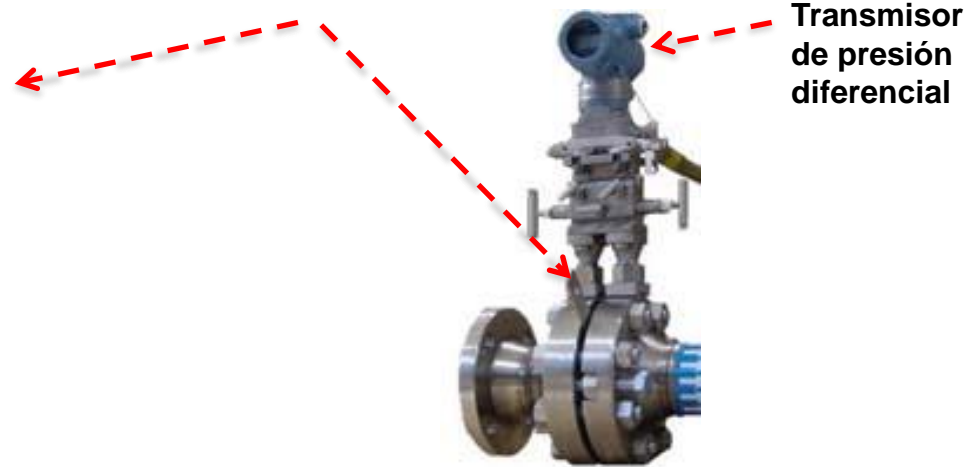
# PLACA ORIFICIO (cont.)



## TRAMO DE MEDICIÓN



## Ubicación de tomas de presión



## PLACA ORIFICIO (cont.)

### **FACTORES QUE AFECTAN LA EXACTITUD DE LA MEDICIÓN**

(Exactitud óptima: 1% del valor leído)

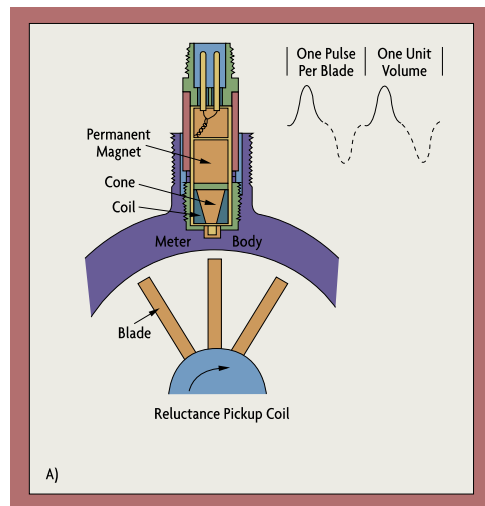
(Exactitud en casos reales: 1% al 4% del valor leído)

- Perturbaciones de la vena gaseosa previo a la placa
- Deterioros en la placa por erosión o corrosión o incrustaciones
- Arrastre de líquido o sólido en la corriente gaseosa
- Caudales fuera del rango óptimo de la medición
- Oscilaciones en la presión controlada
- Rango inapropiado de medición del medidor de presión diferencial
- Deficiente instalación del medidor de presión diferencial
- Algoritmo de cálculo erróneo o con parámetros equivocados del gas

# TURBINAS

Los medidores de turbina tienen un rotor de aspa que puede girar libremente cuando el fluido lo empuja, siendo la velocidad de rotación de la turbina proporcional a la velocidad del fluido.

Para determinar el número de revoluciones de la turbina el medidor consta de un dispositivo captador que genera un impulso eléctrico cada vez que un álabe de la turbina pasa frente a él.



## TURBINAS (cont.)

**Exactitud:** teóricamente 0,25% del valor medido

**Rango habitual:** 10:1

El fluido debe ser limpio y poco abrasivo

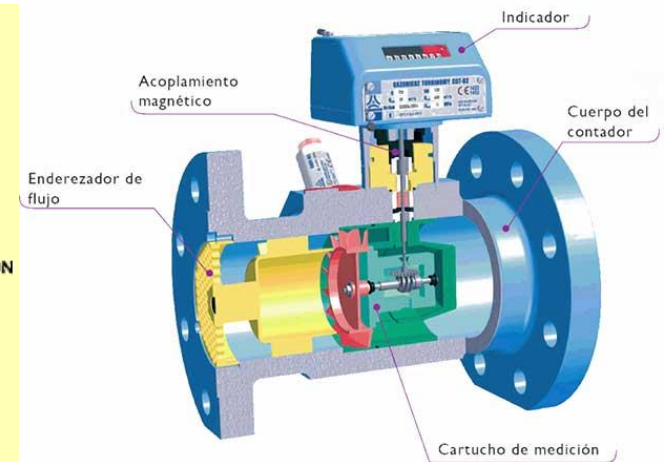
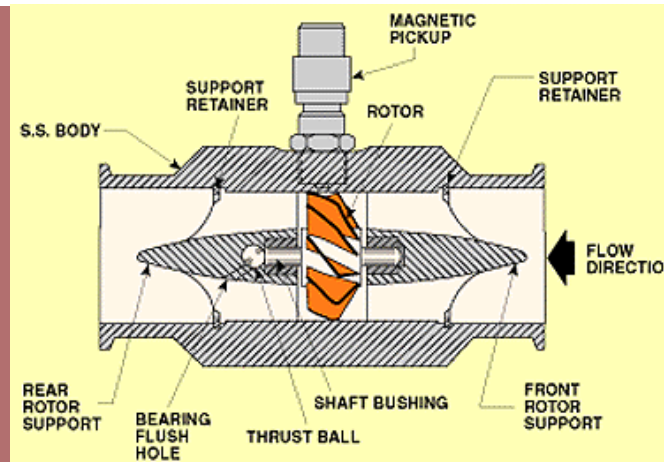
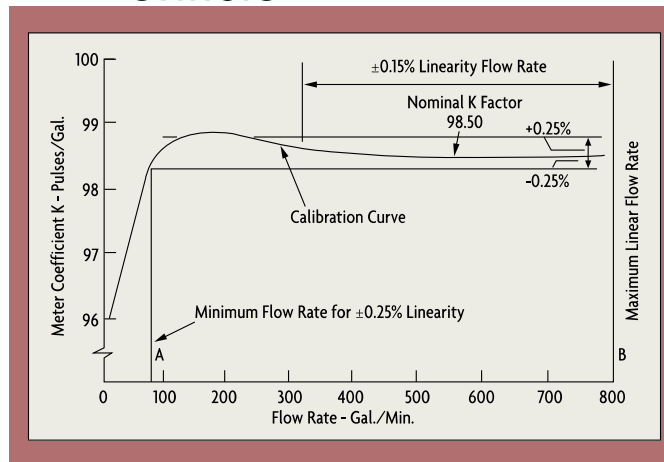
Es sensible a las burbujas de gas en mediciones de líquido

Debe evitarse el flasheo y la cavitación

Requieren longitud recta aguas arriba (aprox 20 D) y aguas abajo (5D)

Sufren desgaste en sus mecanismos rotantes (ejes, rodamientos, etc)

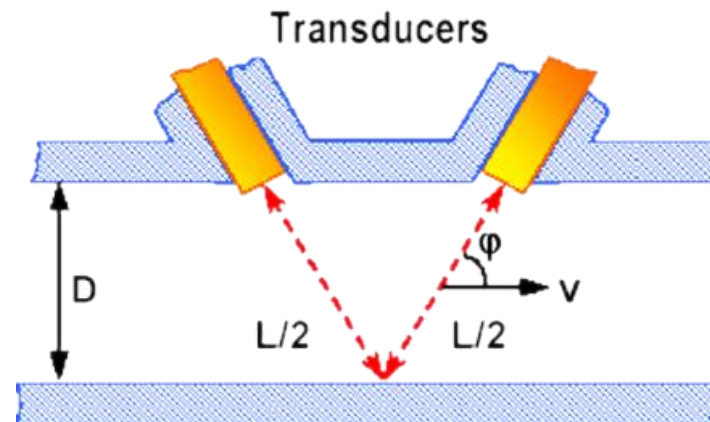
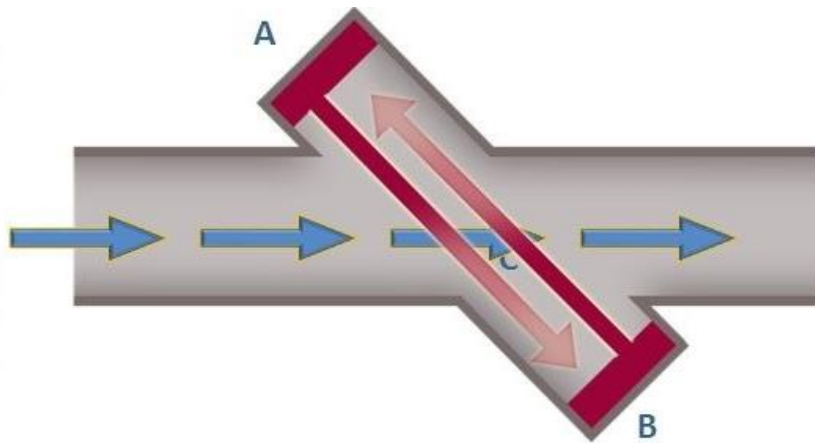
Genera una caída de presión apreciable, pero menor que la placa orificio



# ULTRASONICO

Para calcular el flujo, estos transductores se basan en la propiedad de los ultrasonidos de que, cuando forman un determinado ángulo respecto a la dirección del flujo, los ultrasonidos que van en el mismo sentido que el flujo tardan menos en llegar al receptor que aquellos que van en sentido contrario.

## PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO



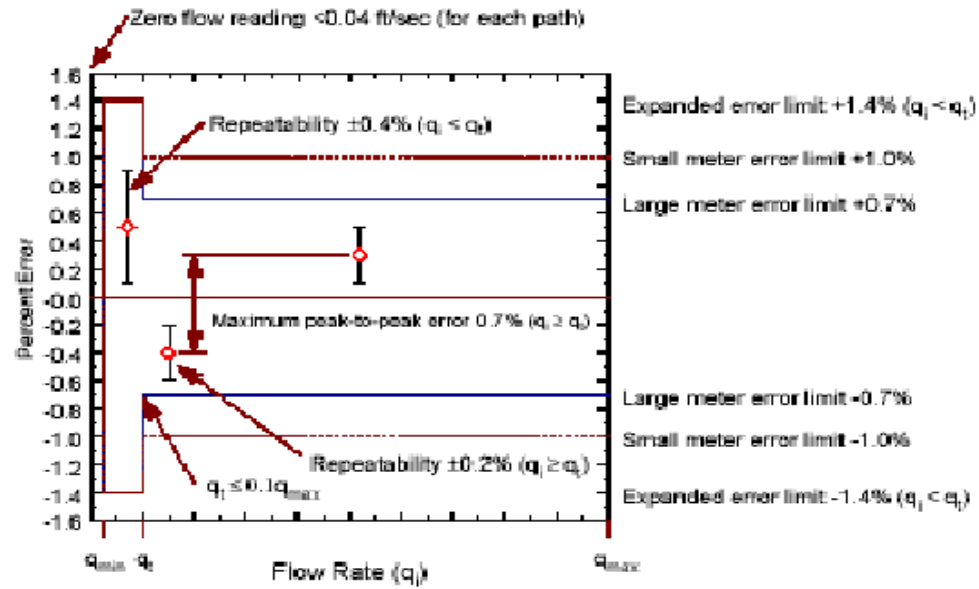
$$v = \frac{(F_d - F_u) L}{2 \cos \varphi}$$

Si se tiene en cuenta que el área de la sección circular viene dada por la relación:  $\pi * D^2 / 4$ , fácilmente se puede calcular el caudal.

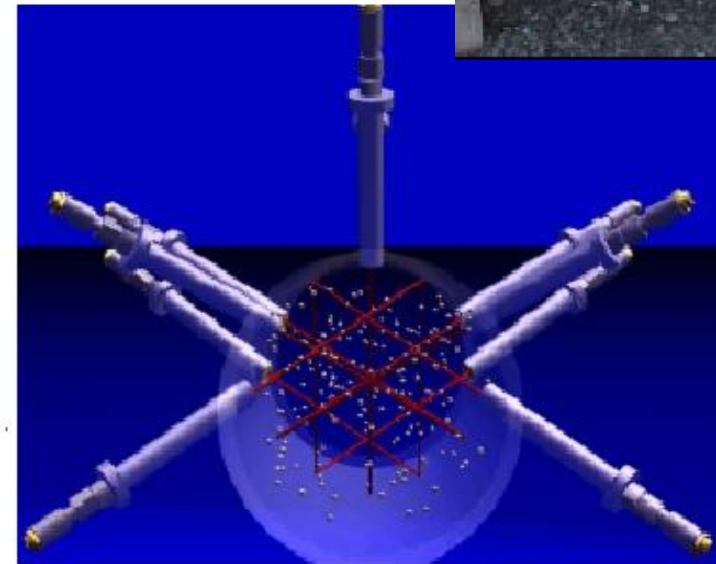


# ULTRASONICO

CURVA TIPICA DE ERROR



**MULTIPATH**



**Precisión:** 1 a 5% del valor medido

**Rango habitual:** 20:1 hasta 100 a 1

# MAGNÉTICOS

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”.

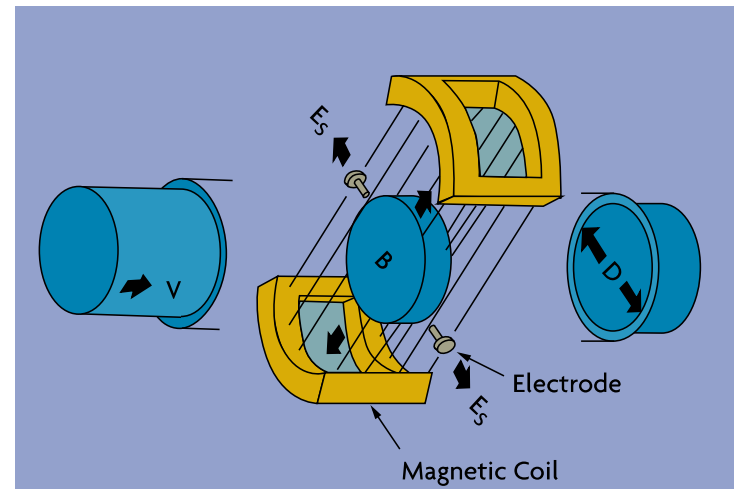
$$E = K \times B \times D \times V$$

E: Voltaje inducido

B: Campo magnético

D: Diámetro interior del caño

V: Velocidad del fluido



Se requiere que el fluido sea conductor

Se calibran para agua y el coeficiente sirve para otros fluidos, salvo que sean “no-newtonianos o que contengan partículas magnéticas”

## MAGNÉTICOS (cont.)

Se pueden usar con fluidos sucios, viscosos y contaminados

Generan muy poca pérdida de presión porque no tienen partes móviles ni elementos que perturben el flujo

Su medición se ve afectada si:

- los electrodos se cubren con impurezas aislantes
- hay burbujas en el líquido que afectan la conductividad
- las distancias antes y después son menores que 5 diámetros y 2 diámetros respectivamente
- la conductividad no es uniforme

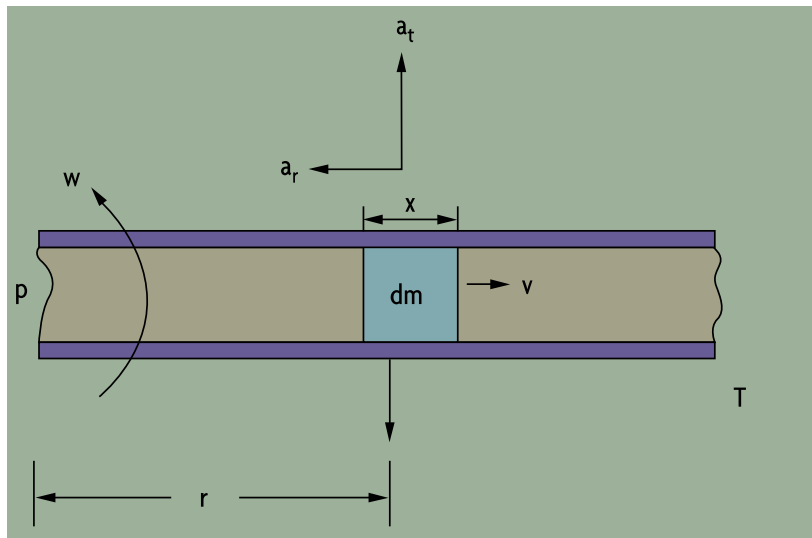
**Exactitud** entre 0,2% y 1,0% del valor medido

**Rango** de 10:1 a 30:1, siempre que la velocidad sea mayor a 0,3 m/s



## MEDIDOR MÁSICO - Coriolis -

La fuerza de Coriolis aparece cuando hay superposición de movimientos rectos con movimientos giratorios.



$$a_t (\text{Coriolis}) = 2 \times \omega \times v$$

## MEDIDOR MÁSICO – Coriolis - (cont.)

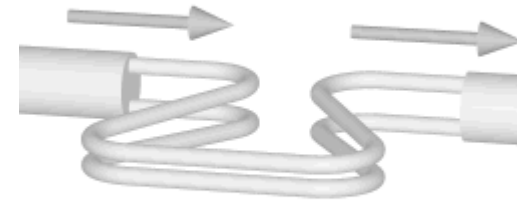
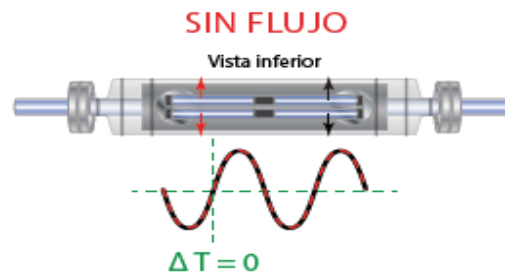
Dos tubos de medición por donde pasa el producto oscilan en su frecuencia de resonancia (por acción de un actuador que le imprime esa frecuencia)

El caudal másico provoca un cambio en la fase de la oscilación entre la entrada y la salida del equipo.

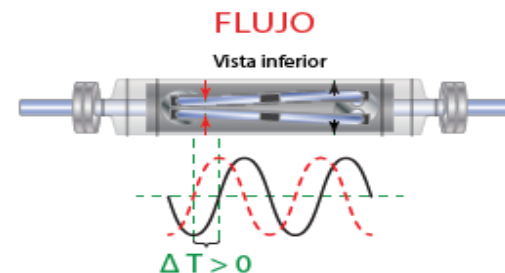
Este desfase es proporcional al caudal másico.



Arcos vibrando sin circulación de fluido  
(~ 1000 vibraciones/segundo, de pequeña amplitud)



Arcos vibrando con circulación de fluido (notar la deformación de los tubos)

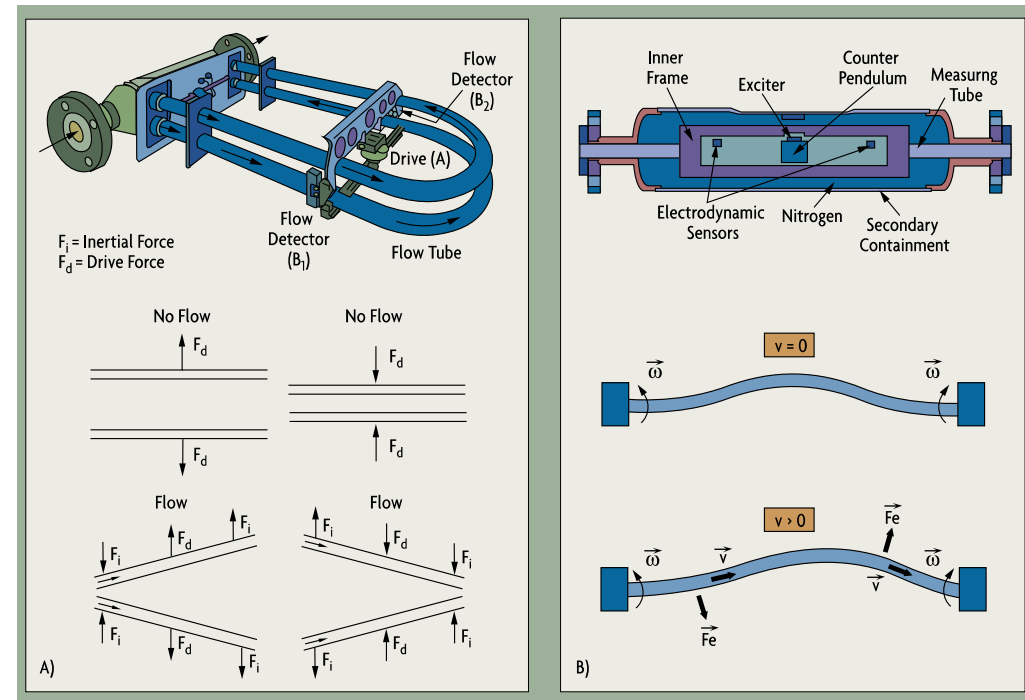


## MEDIDOR MÁSICO – Coriolis - (cont.)

Cuando el caudal es cero, ambos tubos oscilan en una fase

Con caudal másico, la oscilación del tubo disminuye en la entrada y aumenta en la salida

Si el caudal másico aumenta, la diferencia de fase también aumenta.

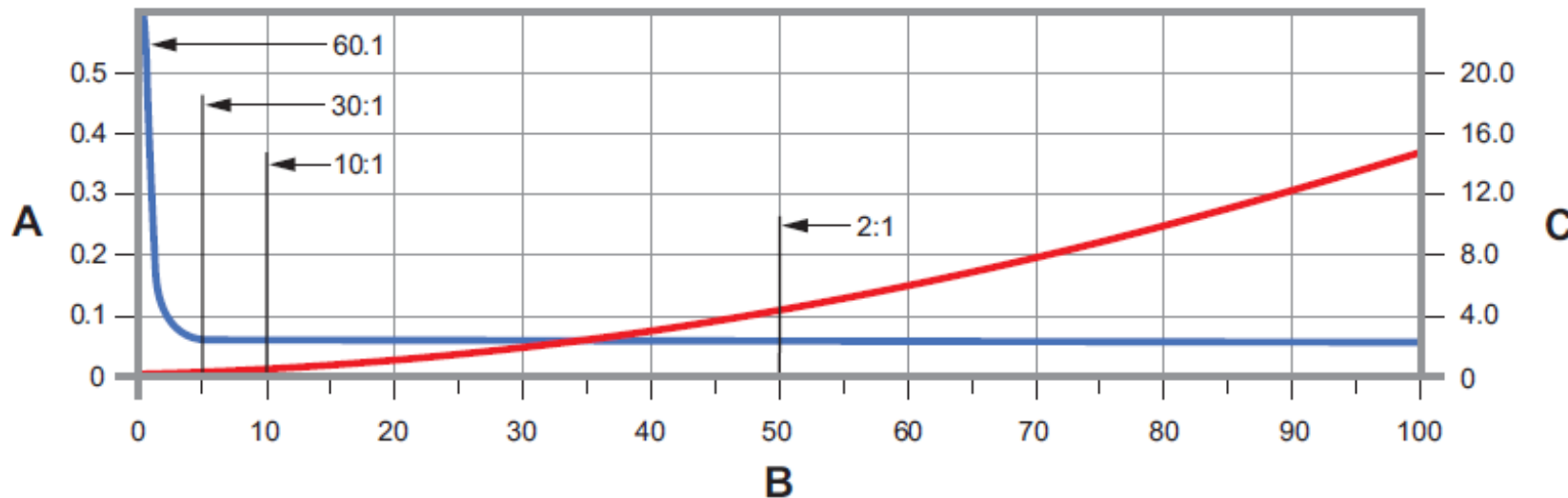


Las oscilaciones de los tubos de medida se miden utilizando sensores en la entrada y en la salida. A partir de esas mediciones se determina el caudal másico.

## MEDIDOR MÁSICO – Coriolis - (cont.)

**Exactitud** entre 0,1% y 2% del valor medido más “error de cero”

**Rango** habitual: 100:1



A. Precisión, % (línea azul)

B. Caudal, % del nominal

C. Caída de presión; psig, barg (línea roja)

No requieren tramos rectos antes y después del medidor

Tienen mayor caída de presión que otros medidores

Su medición es afectada:

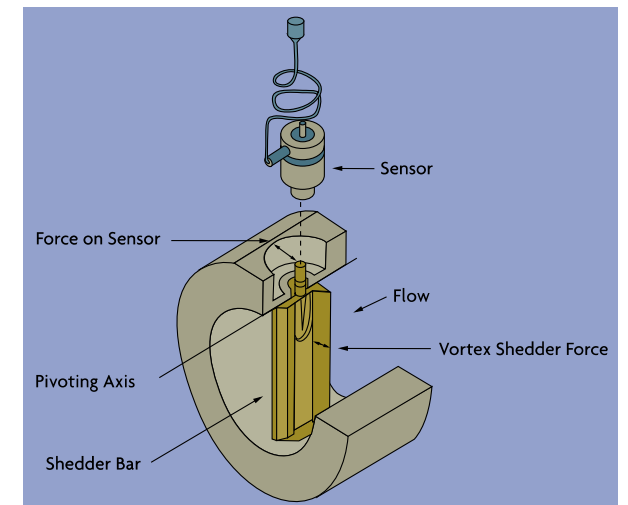
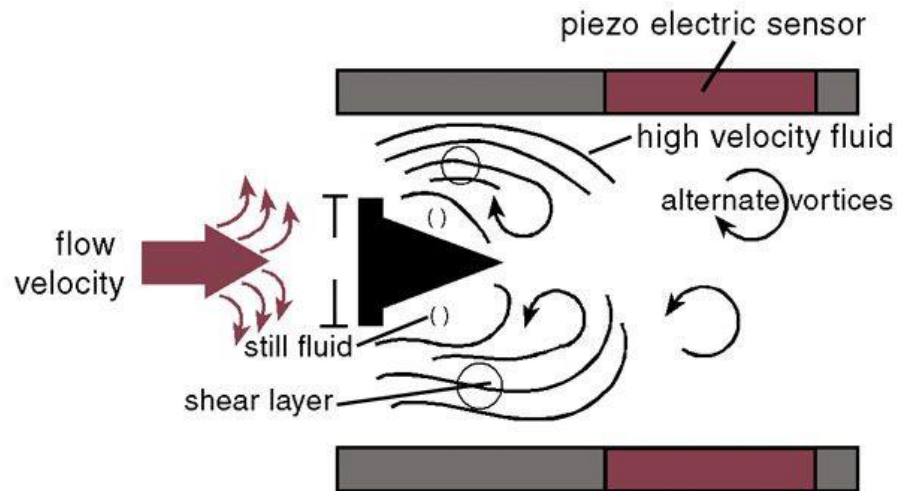
- si hay burbujas que se acumulan en zonas muertas
- si no se soportan bien y se les transmiten vibraciones
- si hay otro medidor similar cerca
- si hay condiciones que favorecen la cavitación o flasheo
- si el fluido es erosivo o corrosivo

## TIPO "VORTEX"

La introducción de un cuerpo en la corriente de un fluido provoca un fenómeno conocido como **vórtice o torbellino** (efecto de Von 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.

Indicado para gases y líquidos limpios, y no muy viscosos



**Exactitud** : 0,5% a 1% para  $Re > 30.000$

**Rango**: aprox 10:1 para fluidos no viscosos

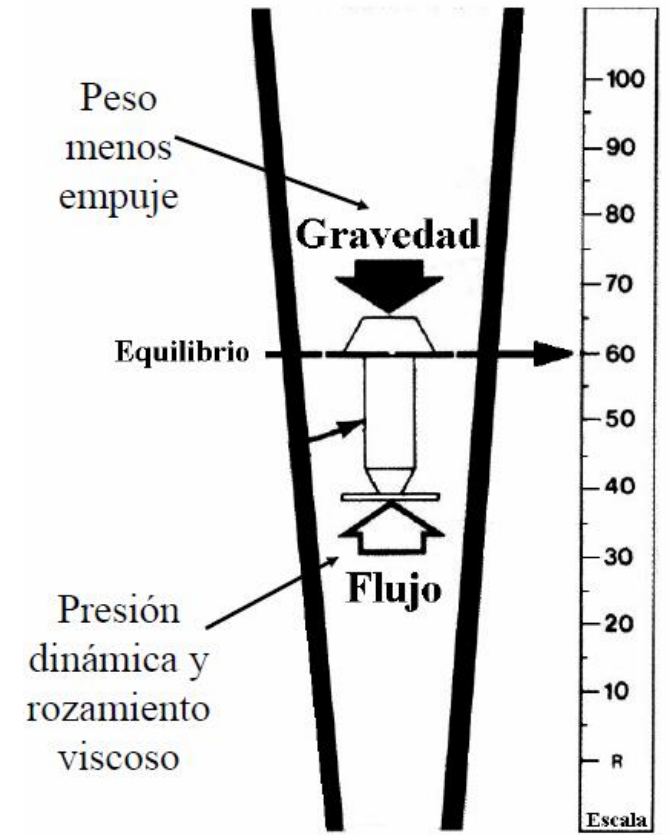
# ROTAMETRO

Un rotámetro es un dispositivo que mide el caudal volumétrico de fluido que circula por un tubo cerrado.

Pertenece a la clase de elementos de medición denominados caudalímetros de área variable, los cuales miden el caudal permitiendo que la sección transversal por donde pasa el fluido varíe, produciendo un efecto medible.



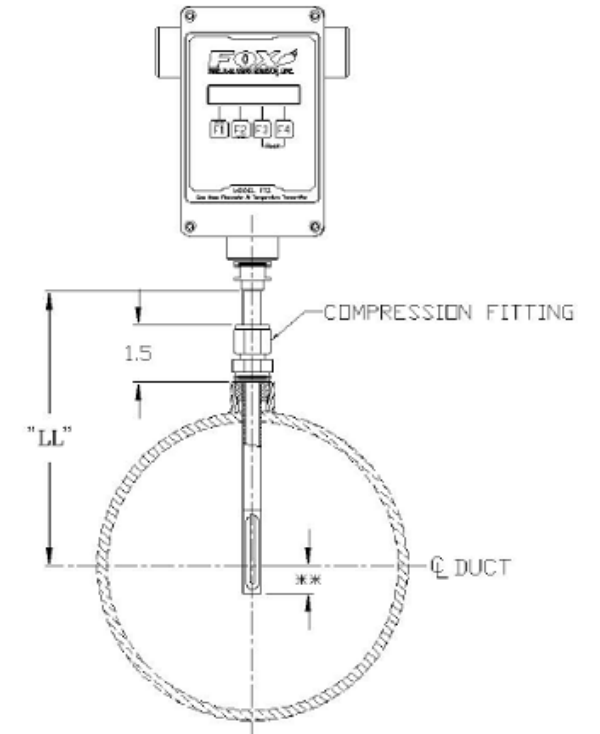
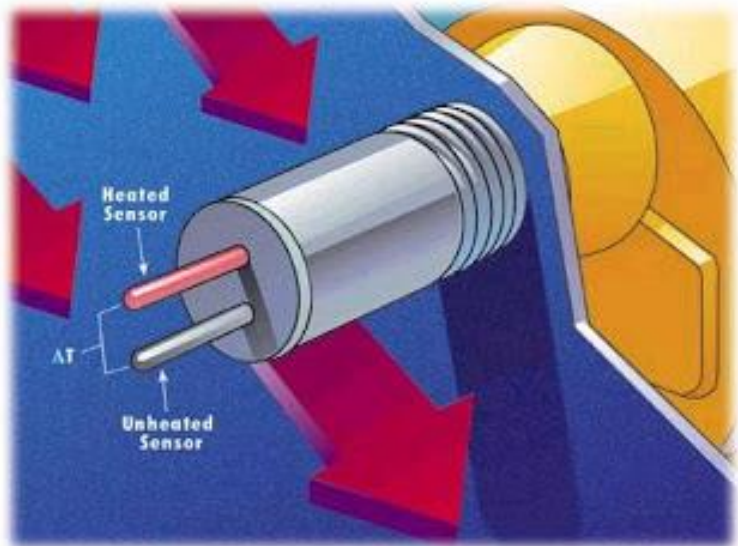
**Precisión : 1% a 10%**  
**Rango: 10:1**



# DE DISPERSION TERMICA

El flujo es medido por efecto del cambio de temperatura en un sensor calentado, cuando es expuesto a un medio que fluye.

El flujo que pasa entre los sensores, produce una variación en la diferencia de temperatura, de tal manera que esta diferencia es inversamente proporcional al flujo existente. Es decir, al aumentar el flujo, la diferencia de temperatura se hace menor.



\*\* EQUALS .50 FOR SERIAL NUMBERS LESS THAN 2000;  
EQUALS .87 FOR SERIAL NUMBERS 2000 AND ABOVE

NOTE: DIMENSIONS IN PARENTHESIS ARE IN CENTIMETERS.

PROBE SIZE	DIMENSION LL ± 1"
4-inch	4.0 (10.2)
6-inch	6.0 (15.2)
9-inch	9.0 (22.9)
12-inch	12.0 (30.5)
15-inch	15.0 (38.1)
18-inch	18.0 (45.7)
24-inch	24.0 (61.0)
30-inch	30.0 (76.2)
36-inch	36.0 (91.4)

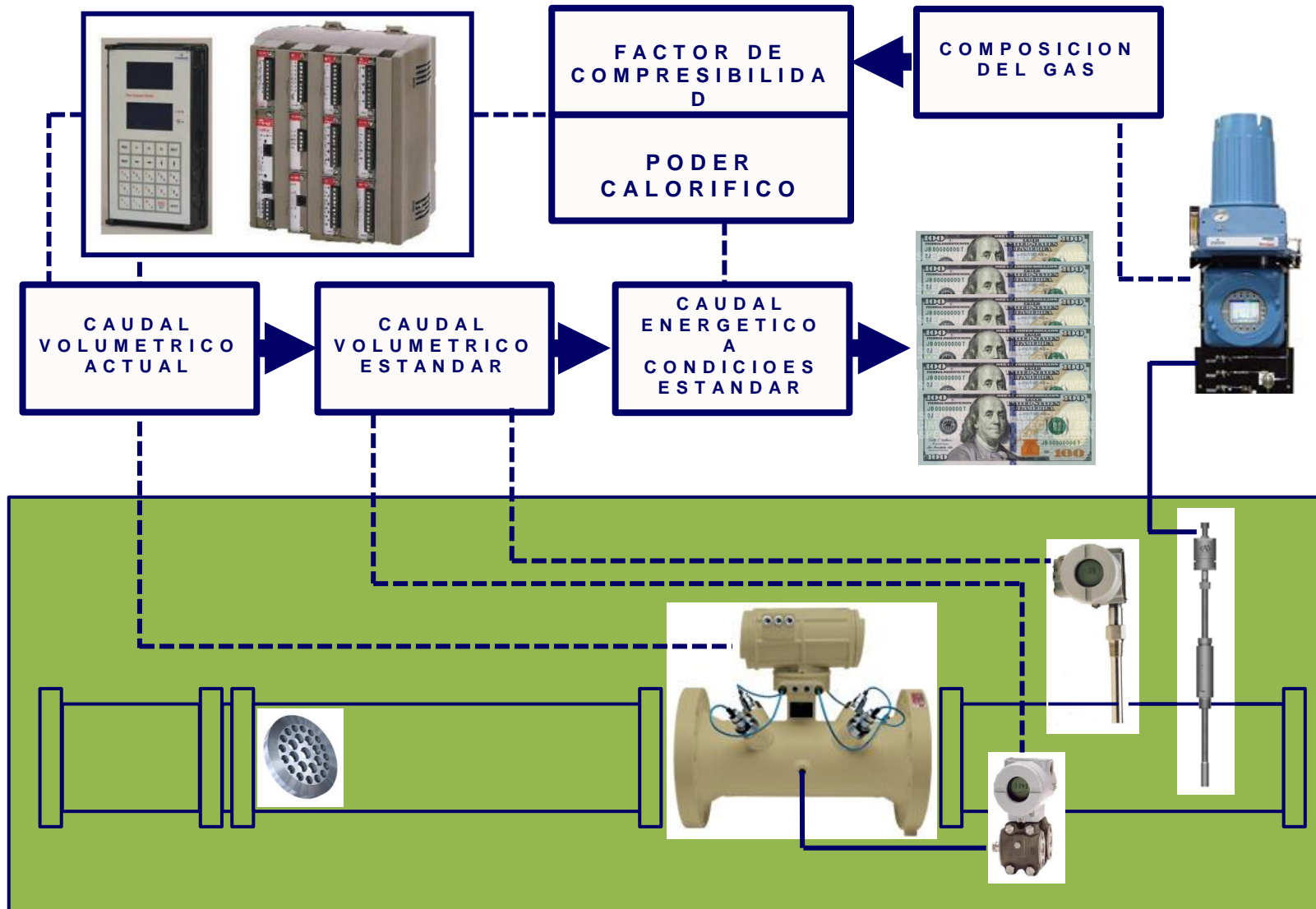
**Precisión : 1%**  
**Rango: 100:1**

## FACTORES QUE AFECTAN LA EXACTITUD DE LA MEDICIÓN

- Perturbaciones de la vena gaseosa (Flujo Turbulento)
- Oscilaciones en la presión controlada
- Arrastre de líquido o sólido en la corriente gaseosa
- Deterioros del medidor por erosión, corrosión o incrustaciones
- Caudales fuera del rango óptimo de la medición
- Deficiente instalación del medidor
- Rango inapropiado de medición del medidor
- Algoritmo de cálculo erróneo o con parámetros equivocados del gas



# TRAMOS DE MEDICIÓN DE CAUDAL – Medición Fiscal



## UNIDADES “LACT” - Medición Fiscal -

Se utilizan para “medición fiscal” de líquidos

**LACT: Lease Automatic Custody Transfer**

Constan de tres Unidades:



## UNIDADES “LACT”

### **Unidad de Rechazo:**

Mide si el líquido está en especificación. En el caso de un crudo se mide el *BS&W (Basic Sediment and Water)*. Si el valor excede el máximo admisible (por ejemplo 0,5%vol), automáticamente se deriva a reprocesamiento en lugar de disponerlo para entrega.

### **Unidad de Medición:**

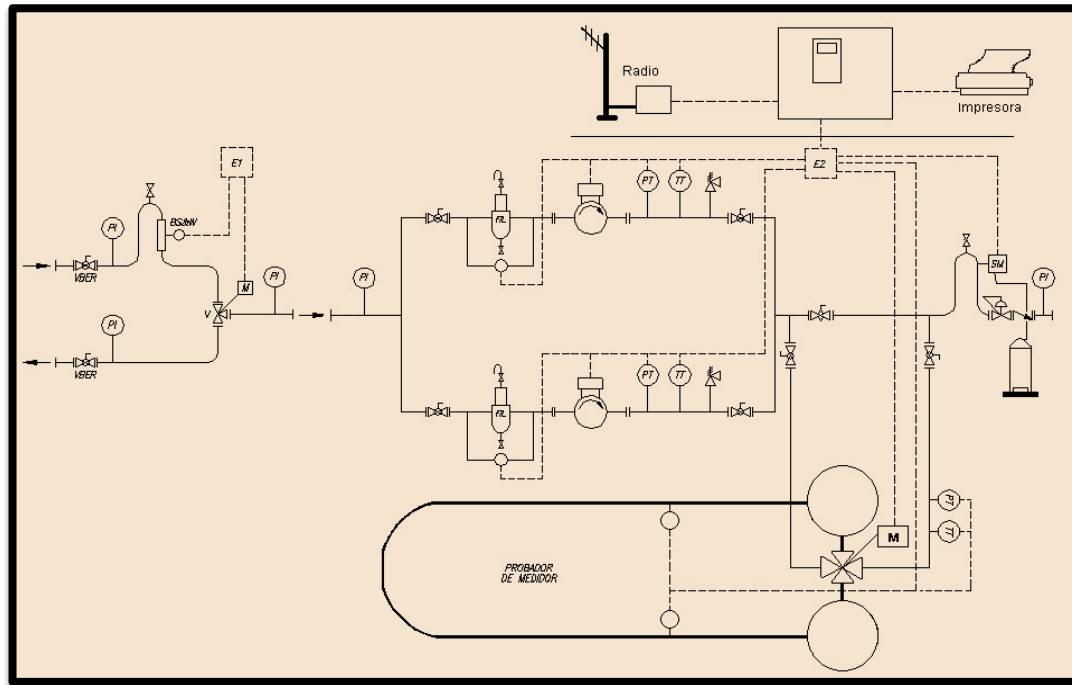
Tiene como elemento principal un Caudalímetro (desplazamiento positivo, ultrasónico, másico, turbina, etc.). Se mide también la presión, la temperatura y la densidad. Generalmente son dos ramas en paralelo, una en operación y otra en stand-by.

### **Unidad de Calibración:**

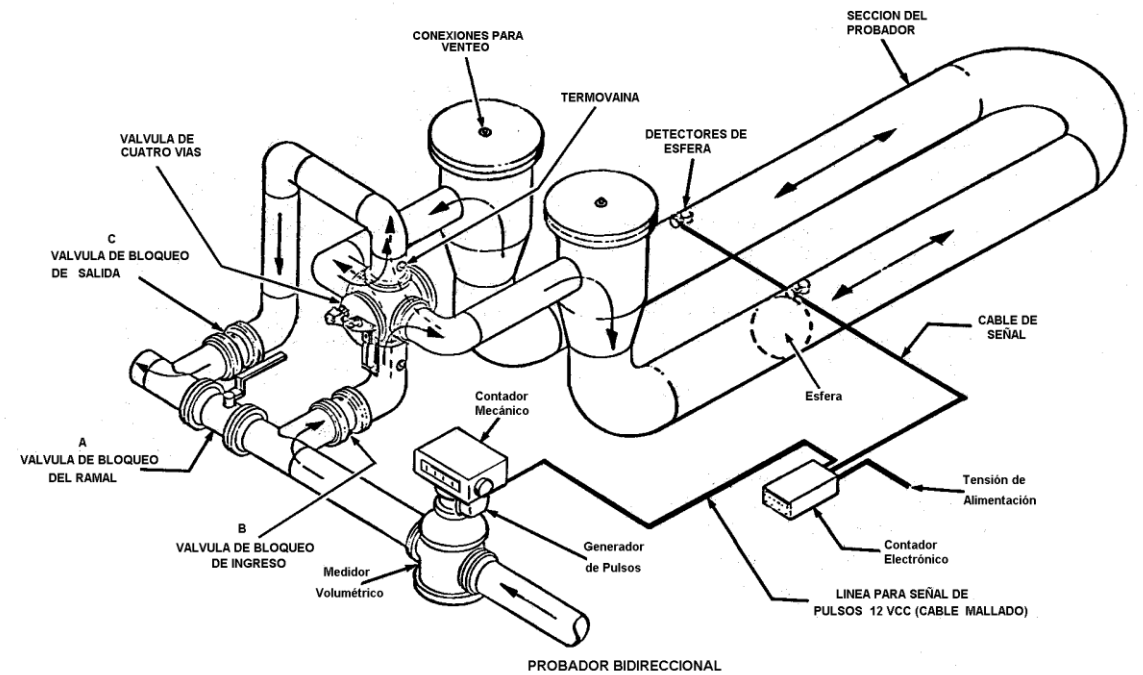
Está instalada en “by pass” para usarse cuando se requiera calibrar la unidad de medición, y en serie con ésta. La más difundida consta de un tramo calibrado en volumen, por donde se hace pasar una esfera. Midiendo el tiempo que tarda la esfera para pasar entre dos marcas se calcula el caudal. Este valor sirve para calibrar el caudalímetro operativo. Otros tipos: Pistón, Master meter.

# UNIDADES "LACT"

## Diagrama típico de Unidad LACT



## Esquema de una Unidad de Calibración Bidireccional



# ESPECIFICACIONES DEL PETROLEO

## ◆ COMPONENTES QUE INGRESAN CON EL CRUDO

- GAS ASOCIADO
- AGUA LIBRE
- AGUA EMULSIONADA
- SÓLIDOS
- SALES

## ◆ ESPECIFICACIÓN DE PETRÓLEO (CALIDAD COMERCIAL Decreto N° 44)

- BS&W < 1% (Basic Sediment and Water)
- Sales: 10 – 25 PTB (Pounds per Thousand Barrels)

## ◆ CALIDAD DE AGUA

	<b>Reinyección</b>	<b>Disposición</b>
■ Petróleo en Agua:	5 a 20 ppm	20 a 40 ppm
■ Sólidos en Suspensión:	2 a 20 ppm	< 20 ppm

# ESPECIFICACIONES DEL GAS NATURAL

H <sub>2</sub> O	<b>GAS A GASODUCTO NAG 602</b>  Agua < 65 mg/Sm <sup>3</sup> H <sub>2</sub> S < 3mg/Sm <sup>3</sup> ( 2,1 ppmv) Azufre Total <15mg/Sm <sup>3</sup> O <sub>2</sub> < 0,2% molar CO <sub>2</sub> < 2% molar Inertes < 4% molar Punto de Rocío HC < -4 °C @ 55 Bar (a) PCs:8850a10200 kcal/m <sup>3</sup> Indice Wobbe: 11.300 a 12.470	
H <sub>2</sub> S		
COS		
CS <sub>2</sub>		
RSH		
O <sub>2</sub>		
N <sub>2</sub>		
CO <sub>2</sub>		
C1		
C2		
C3	Propano Comercial: PV < 208 psi @100°F (1434 kPa a 37,8° C) C2 < 3%v, C4+ < 2.5%v Evap: 95% a < -38,3° C a 1 atm.	
iC4	Butano Comercial: PV < 70 psi @100°F (482,6 kPa a 37,8° C) C5+ < 2.0%v Evap: 95% a < -2,2° C a 1 atm.	
nC4		
iC5		
nC5		
C6		
C7+		

**Gasolina Estabilizada**

**RVP < 12 psi @ 100°F**

**Pto. Final Evap. 190° C**

# EQUIPAMIENTO

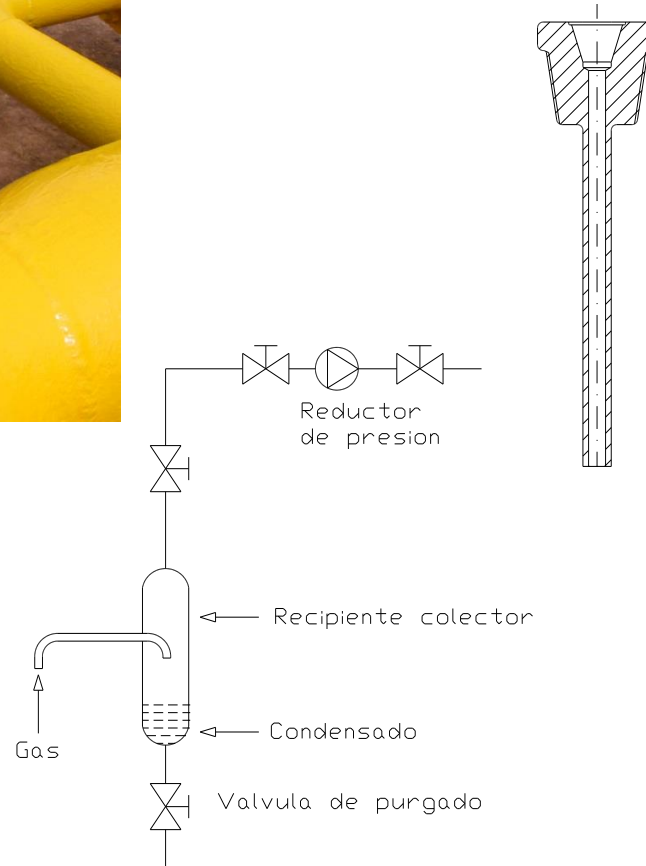


- ***Cromatógrafos en línea***
- ***Detección de H<sub>2</sub>S***
- ***Detección de Hg***
- ***Medidores de Punto de Rocío***
- ***Analizadores de Laboratorio***

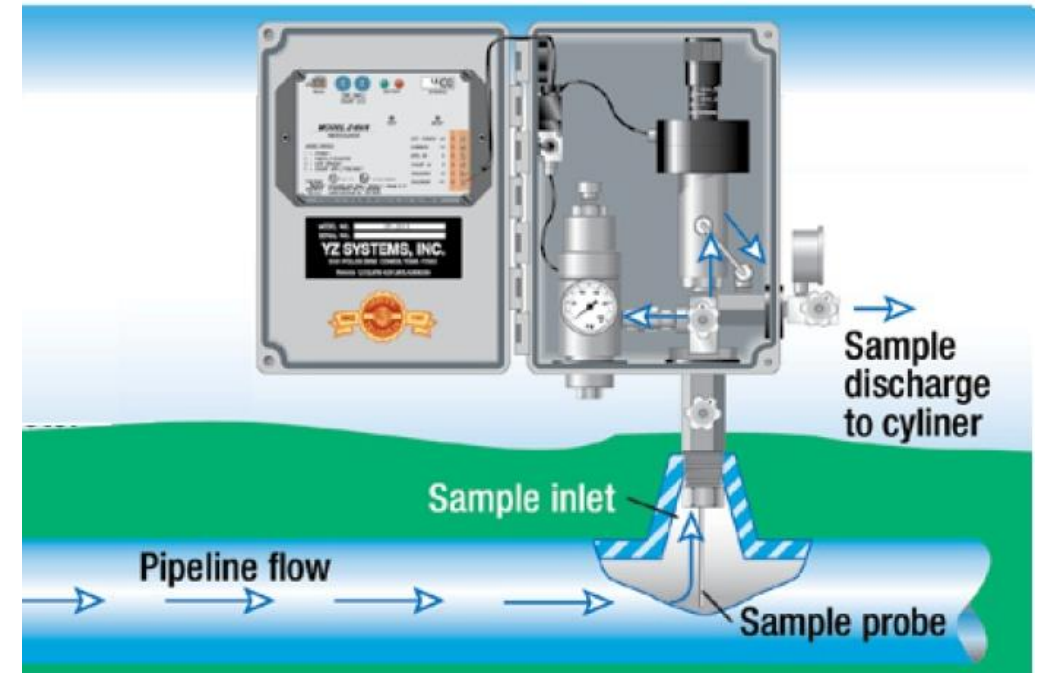


# Técnicas de Muestreo

IRAM A 6858



## Muestreador Continuo

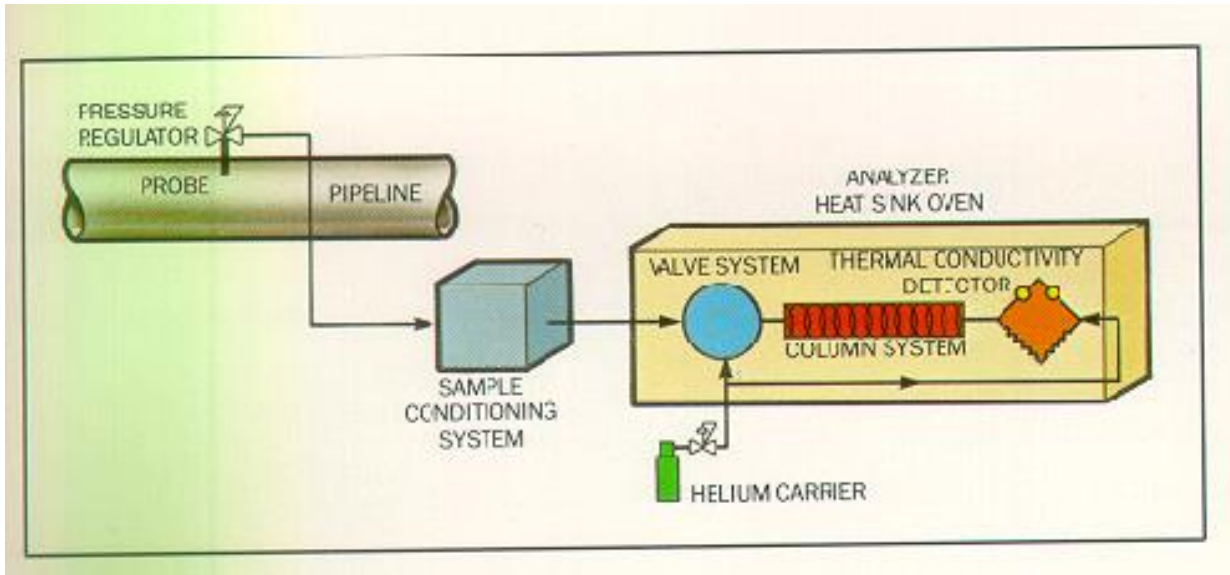


- Proporcional al tiempo
- Proporcional a caudal

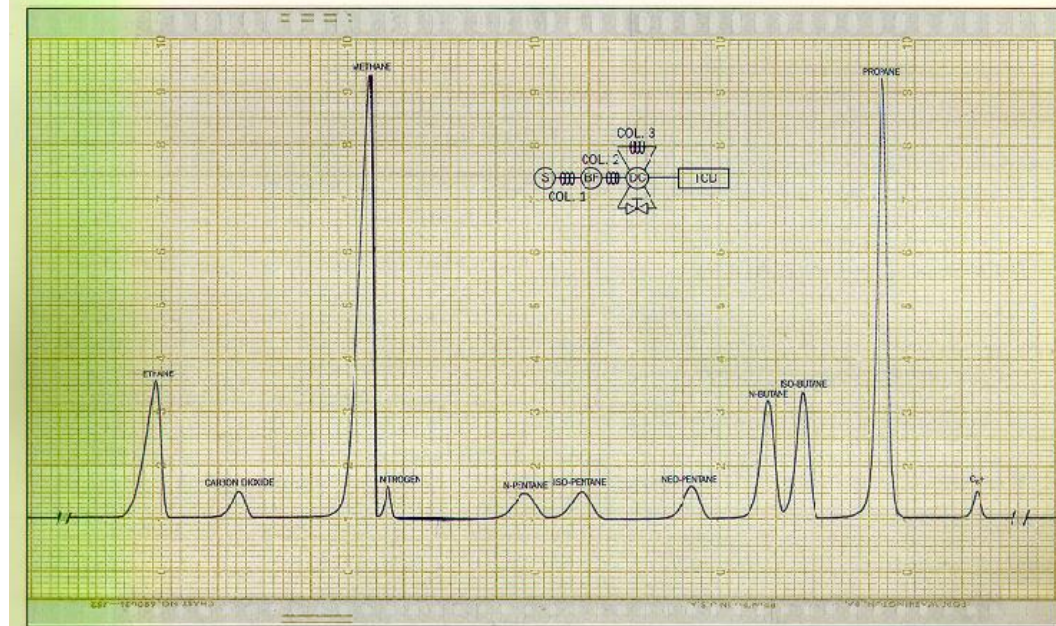


# CROMATOGRAFIA

IRAM A 6862



## Chromatogram.



# HIGROMETROS



## ✓ celda de capacitancia:

La película dieléctrica del material modifica la capacidad del capacitor en relación con el contenido de vapor de agua presente

## ✓ celda de tipo electrolítico:

Genera una corriente, entre dos electrodos, proporcional al contenido de vapor de agua

## ✓ celda de tipo piezoeléctrica:

La humedad sobre el polímero produce un cambio proporcional en la frecuencia de oscilación del cristal de cuarzo

## ✓ celda de tipo láser:

El láser emite una luz que es absorbida proporcionalmente a la cantidad de agua

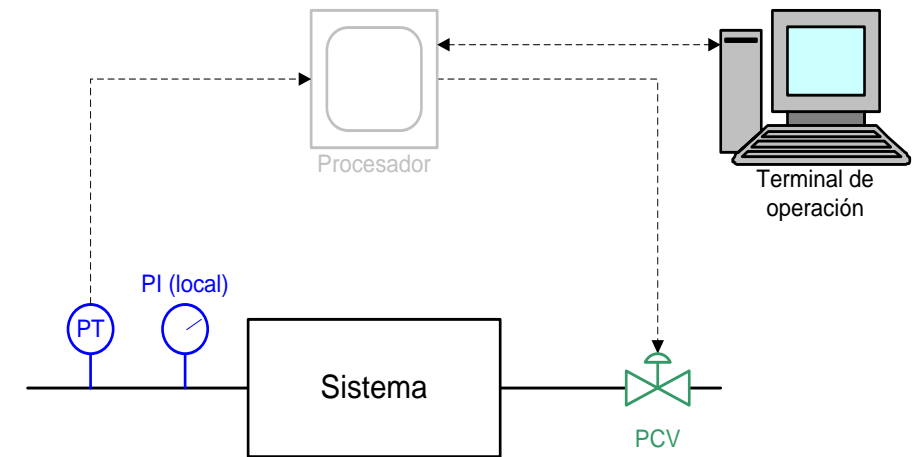
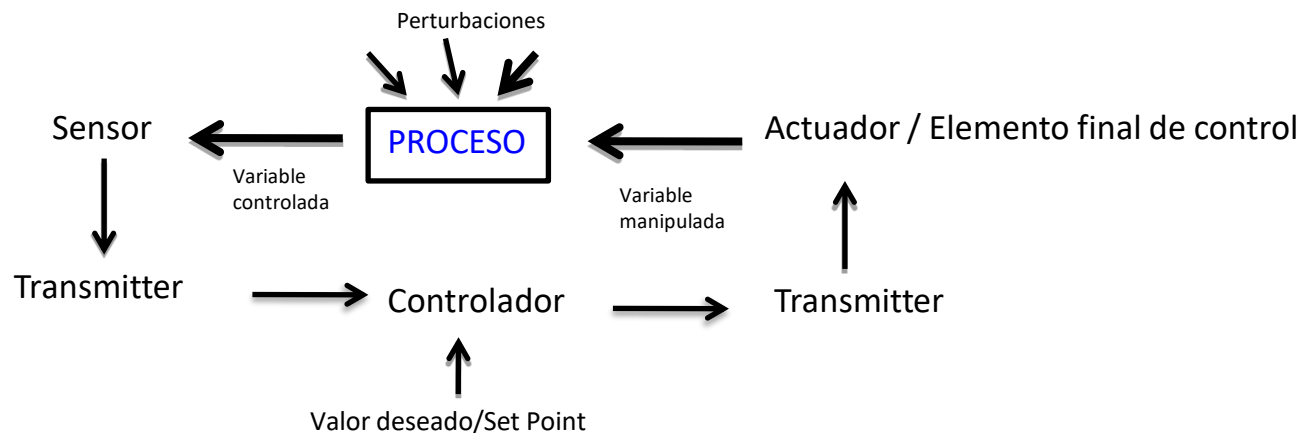


# Sistema de Control

## Objetivos:

- ✓ Controlar las variables de interés
- ✓ Optimizar el rendimiento del proceso
- ✓ Proporcionar información en tiempo real sobre el proceso

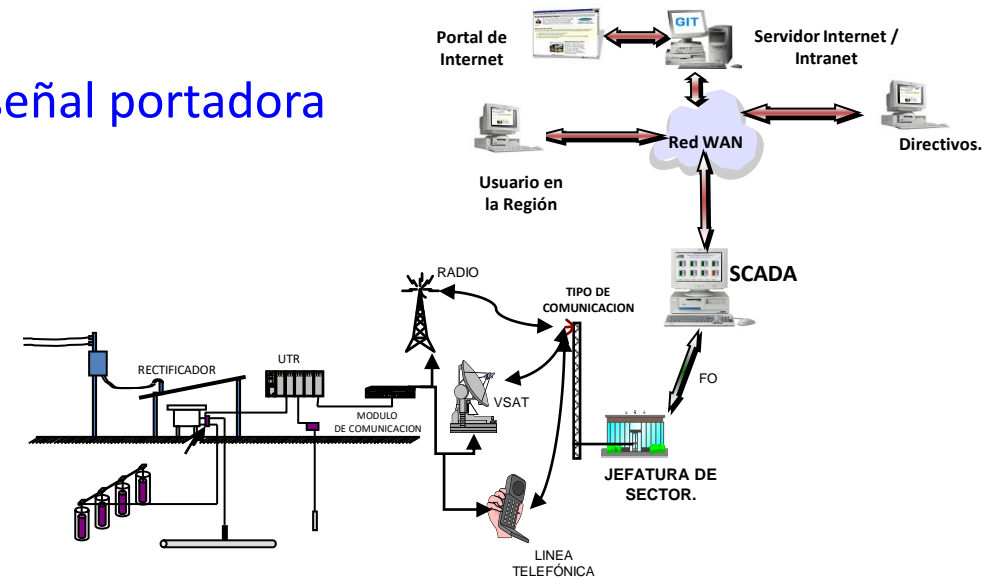
### Lazos de control: componentes básicos



- Recibe información del sistema de medida, la procesa y genera señales de mando a los actuadores, según las órdenes de control y optimización elegidas.
- Almacena datos e información de procesos de la planta en tiempo real y la presenta en un formato comprensible

# Telemedición y Telecontrol

- **Telemedición:** Transmisión a distancia de una señal portadora del resultado de una medición

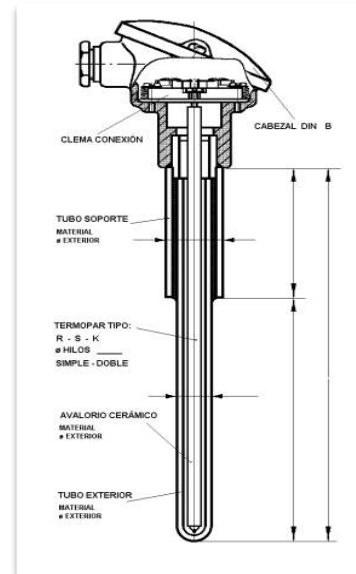
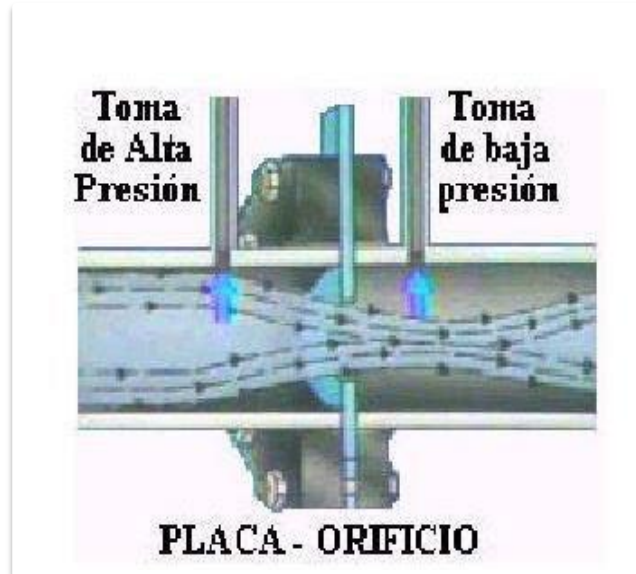


- **Telecontrol:** Control de un aparato o una máquina que se realiza a distancia mediante radio, ondas sonoras o haces luminosos.



# ELEMENTOS PRIMARIOS

Están en contacto con el fluido o variable, utilizando o absorbiendo energía del medio controlado, e indican una respuesta a la variación de la variable controlada.





# TRANSMISORES

Captan la variable de un proceso, generalmente a través de un elemento primario, y la transmiten a distancia en forma de señal neumática

(3-15 psi), eléctrica (4-20 mA), pulsos, hart o bus de campo.

Transmisor de Temperatura



Transmisor de nivel



Transmisor de caudal



Transmisor de Presión



# INTERRUPTORES

Captan la variable de proceso y para un valor establecido actúan sobre un interruptor, como presostatos, termostatos, interruptores de nivel, flujostatos, etc.

Interruptor flotador



Termostato



Presostato



# CONVERTIDORES Y ELEMENTO FINAL DE CONTROL

- **Convertidores.** Reciben un tipo de señal de un instrumento y la modifican a otro tipo de señal. Se usan para homogeneizar los sistemas de control.
- **Elementos finales de control.** Reciben un tipo de señal procedente de un controlador y modifican el caudal del fluido o agente de control. Como válvulas de control o variadores de frecuencia.



Actúan abriendo o cerrándose.

El electro-posicionador recibe una señal eléctrica del procesador de lógicas (sistema de control) y según la intensidad de la señal aumenta o disminuye la presión de aire de instrumentos en el actuador ⇒ regula la posición del vástago.

En lugar de un electro-posicionador también se puede utilizar un “conversor I/P” para ‘traducir’ la intensidad de señal eléctrica en una presión de aire.



# Controlador

Dispositivo que recibe una medida de una variable del proceso la compara con otra fijada que representa el punto de control deseado y ajusta la salida de acuerdo con el algoritmo de control seleccionado hasta minimizar el error entre la entrada y el punto de control



# Unidad Remota (RTU)

Es un dispositivo basado en microprocesadores, el cual permite obtener señales independientes de los procesos y enviar la información a un sitio remoto donde se procese.

Generalmente este sitio remoto es una sala de control donde se encuentra un sistema central SCADA el cual permite visualizar las variables enviadas por la RTU.

Dentro del universo de las RTU existen los controladores PLCs, quienes complementan sus facilidades de comunicación.



Para las comunicaciones internas de los equipos, o entre ellos, las RTU han adoptado el protocolo Modbus, en la forma de Modbus RTU, que puede implementarse sobre una red RS-485 o sobre una red TCP/IP3

# Controladores lógicos programables PLC

Es un microprocesador diseñado para implementar una serie de funciones secuenciales, para automatizar procesos.

Está diseñado para múltiples señales de entrada y de salida, rangos de temperatura ampliados, inmunidad al ruido eléctrico y resistencia a la vibración y al impacto.

Es un ejemplo de un sistema de tiempo real, donde los resultados de salida deben ser producidos en respuesta a las condiciones de entrada dentro de un tiempo limitado

Tiene una gran capacidades de manipulación, almacenamiento, procesamiento y comunicación de datos.



# Sistema de Control Distribuido (DCS)

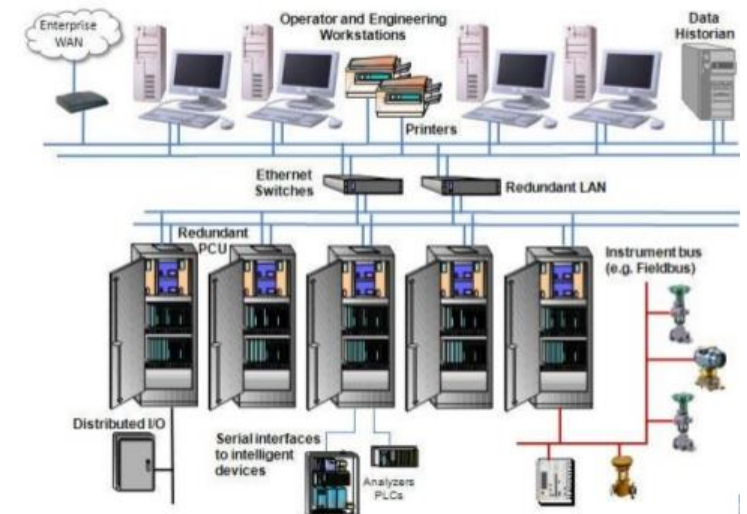
Es un sistema de control aplicado a procesos industriales complejos en las grandes industrias. Trabajan con una sola Base de Datos integrada para todas las señales, variables, objetos gráficos, alarmas y eventos del sistema.

La plataforma de programación es multi-usuario de forma que varios programadores pueden trabajar simultáneamente sobre el sistema de forma segura sin conflictos.

Aborda la complejidad de los procesos industriales dividiendo en cuatro niveles funcionales su alcance.

- Nivel de Operación
- Nivel de Control
- Nivel módulos de Entrada/Salida
- Nivel de elementos de campo.

Nota: Todo DCS lleva implícitas las características de robustez y fiabilidad, por ello dispone de redundancia en todos los niveles antes descritos:

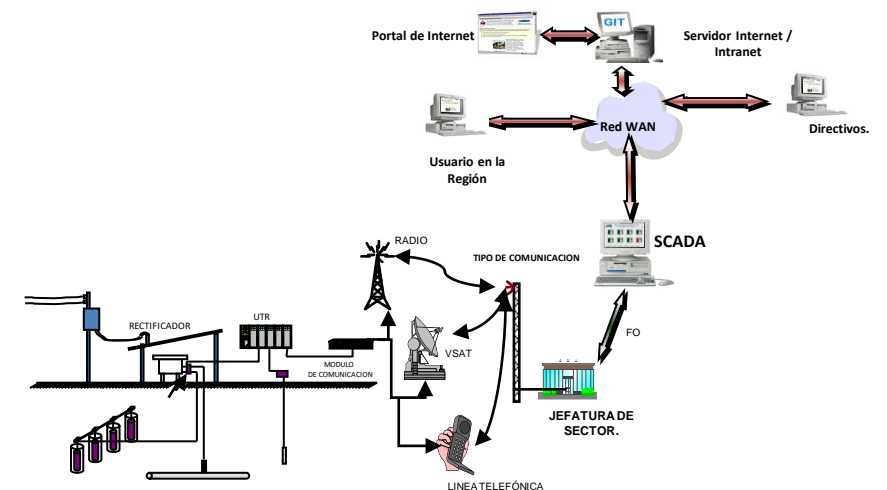


# SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION

## (CONTROL DE SUPERVISIÓN Y ADQUISICIÓN DE DATOS)


Es un sistema basado en computadores que permite supervisar y controlar variables de proceso a distancia, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos) y controlando el proceso de forma automática por medio de un software especializado.

También provee de toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros usuarios supervisores dentro de la empresa (supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos, etc.).





# ANEXOS

- Tipos de Control
  - Válvulas de control
  - Equipos controlados
- 

# TIPOS DE CONTROL

## 1) Control Todo o Nada

Se basa en que el controlador tiene sólo dos estados ON/OFF, abierto/cerrado. Si comparamos el Valor medido con el Valor de referencia, se toma una de las dos posibles acciones dependiendo del signo del error

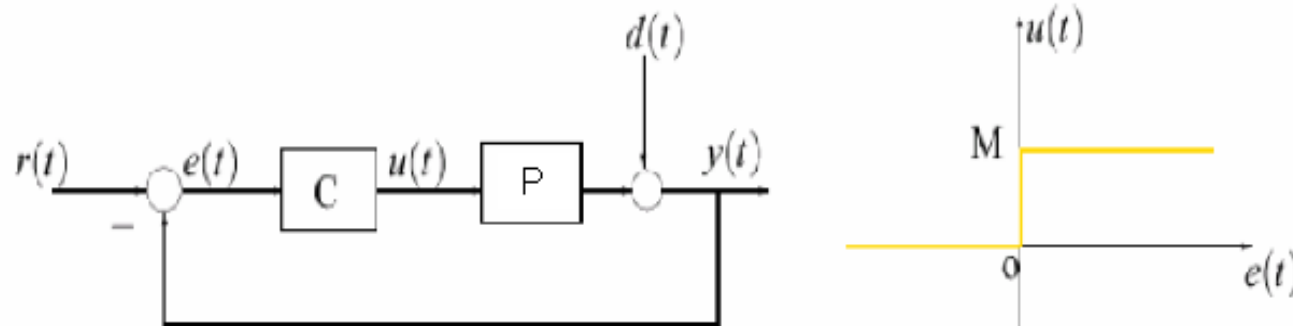
Por ejemplo, en un control de temperatura de un refrigerador:

Si la Temperatura  $>$  Tref.  $\rightarrow$  encender compresor

Si la Temperatura  $<$  Tref.  $\rightarrow$  apagar compresor

Es de uso extendido en sistemas industriales y domésticos por ser simple y barato

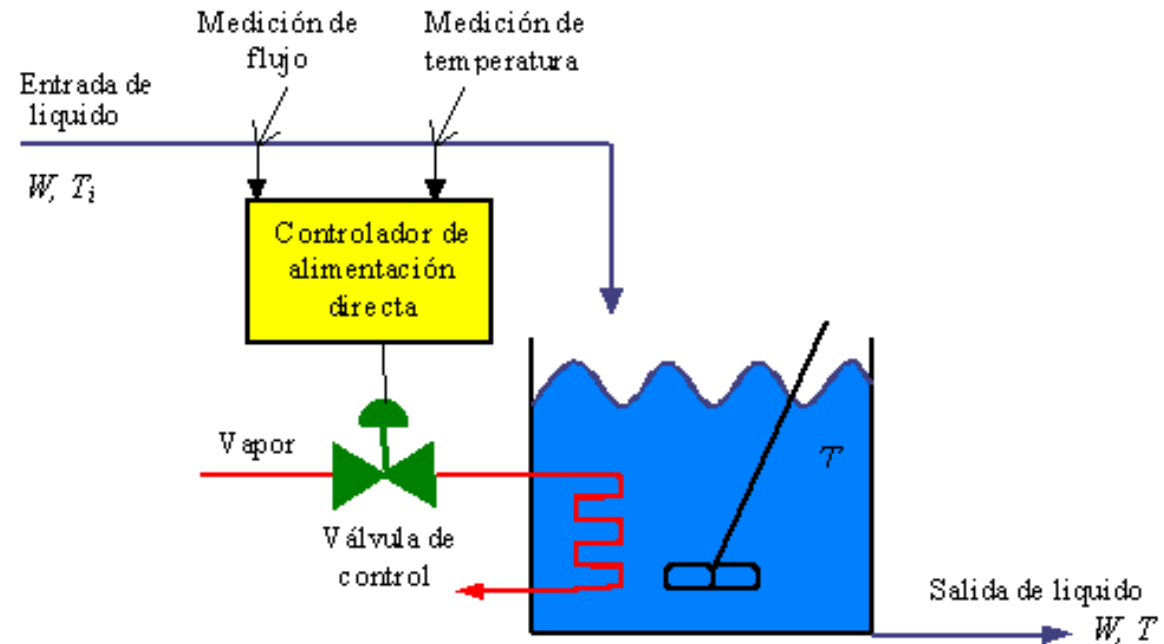
El rango en el que debe moverse la señal  $e(t)$  antes que ocurra la conmutación se denomina brecha diferencial



# TIPOS DE CONTROL

## 2) Control de lazo abierto

No posee un elemento de medición en la salida del proceso, por lo que no se puede verificar que se llega al set-point que se quiere.

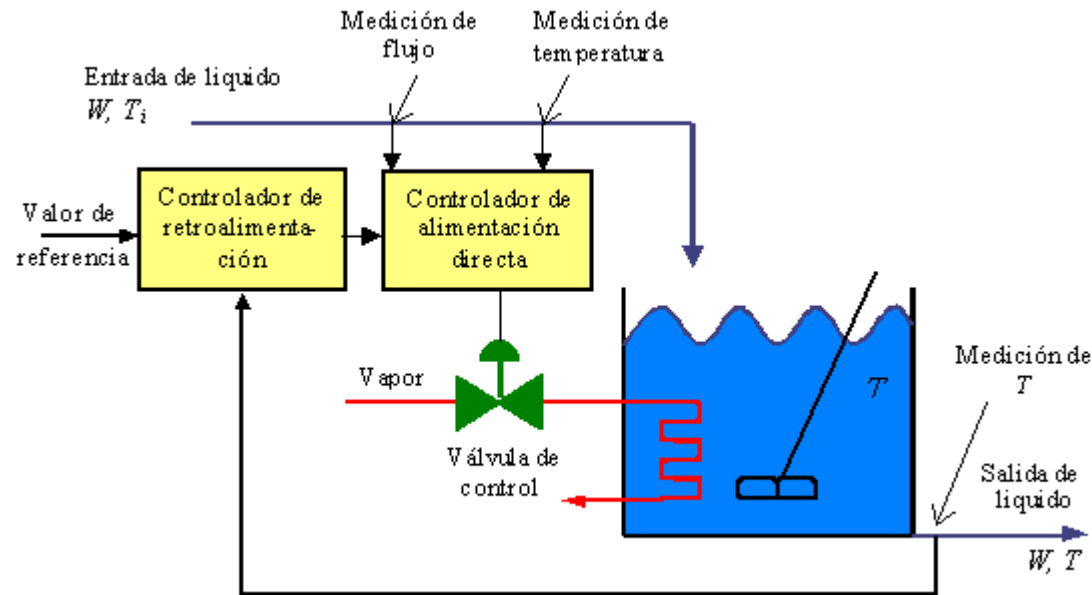




# TIPOS DE CONTROL

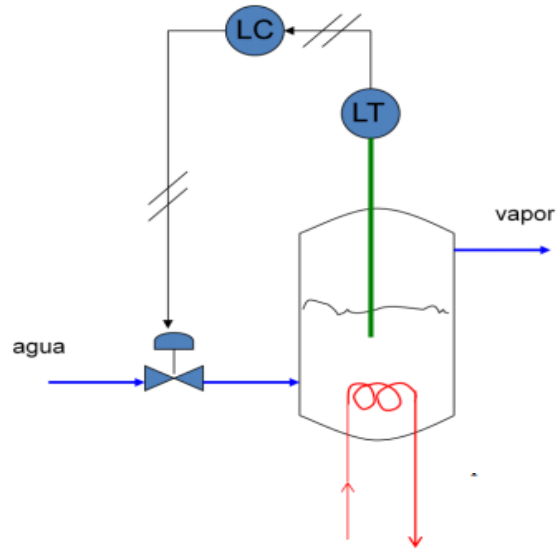
## 3) Control de lazo cerrado

El elemento primario de medición siempre está viendo la variable del proceso y le indica al controlador las variaciones que está teniendo este para que envíe la salida necesaria al elemento final y así lleve al proceso a los valores deseados (set-point).

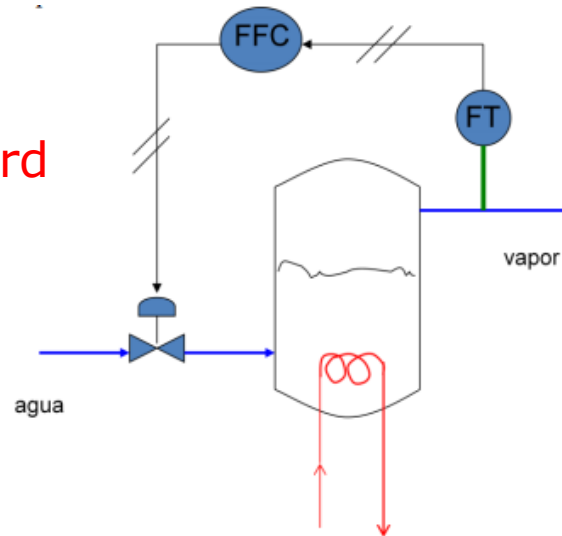


### 3) Control de lazo cerrado (continuación)

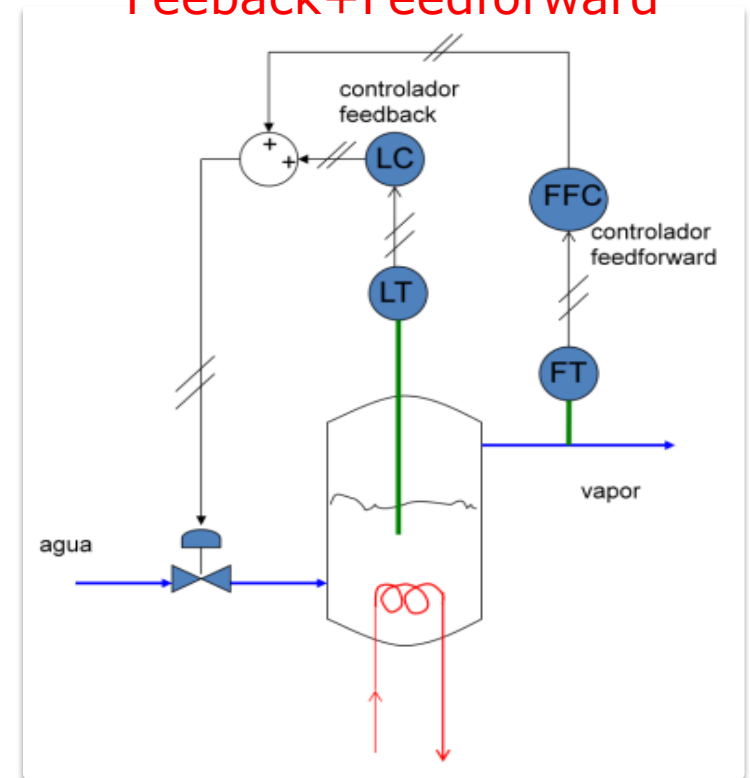
Feedback



Feedforward



Feedback+Feedforward



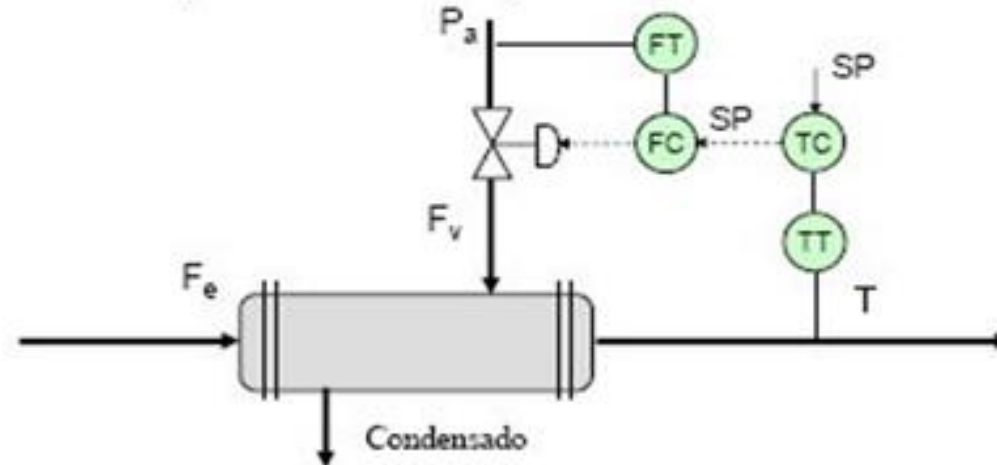
# TIPOS DE CONTROL

## 4) Control en Cascada

La estructura de control en cascada se caracteriza por dos controladores realimentados anidados, siendo la salida del primario (maestro) el punto de consigna del controlador secundario (esclavo). La salida del controlador secundario es la que actúa sobre el proceso.

Ejemplo intercambiador:

Plano de control (en notación ISA simplificada)



El regulador externo (TC-temperatura) fija la consigna del regulador interno (FC-caudal) cuyo objetivo es corregir el efecto sobre el caudal de combustible ( $F_v$ ) del cambio en  $P_a$  antes de que afecte de forma significativa a la temperatura  $T$ .

# Algoritmos de control

- Proporcional

Ejemplo: Cambiar la posición de una válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la desviación de la temperatura (variable) respecto al punto de consigna (valor deseado).

$$P_{\text{sal}} = K_p e(t)$$

- Integral

Ejemplo: Mover la válvula (elemento final de control) a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna (variable deseada).

$$I_{\text{sal}} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

- Derivativo

Ejemplo: Corrige la posición de la válvula (elemento final de control) proporcionalmente a la velocidad de cambio de la variable controlada.

$$D_{\text{sal}} = K_d \frac{de}{dt}$$

- Combinaciones entre ellos PID

Nota: el uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo.

# VALVULAS DE CONTROL

## ***Cv Coeficiente de Flujo de una Válvula de Control***

El Cv es la característica principal de una Válvula de Control. Indica el caudal que por ella pasará ante una diferencia de presión determinada, y para una posición de apertura determinada.

Su valor depende de la posición del obturador, debiendo elegirse un rango de apertura dentro del rango de controlabilidad de la válvula.

Dados los valores de Caudal, Fluido, Condiciones de Proceso y Caída de Presión disponible, se calculan para varias condiciones los Cv requeridos, y se elige la Válvula de Control que pueda manejar esos distintos Cv

$$C_v = F \sqrt{\frac{SG}{\Delta P}}$$

where:

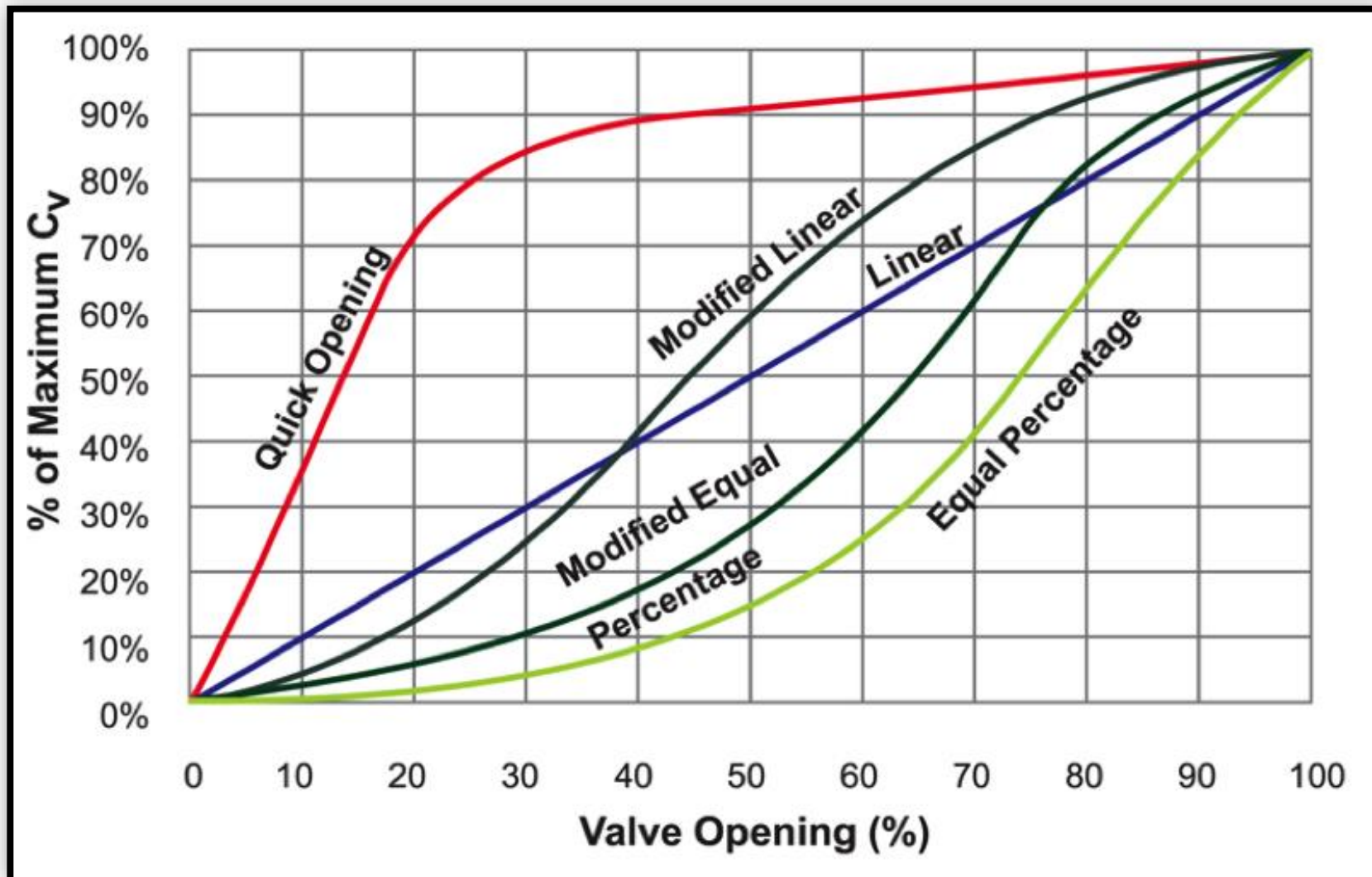
$C_v$  = Flow coefficient or flow capacity rating of valve.

F = Rate of flow (US gallons per minute).

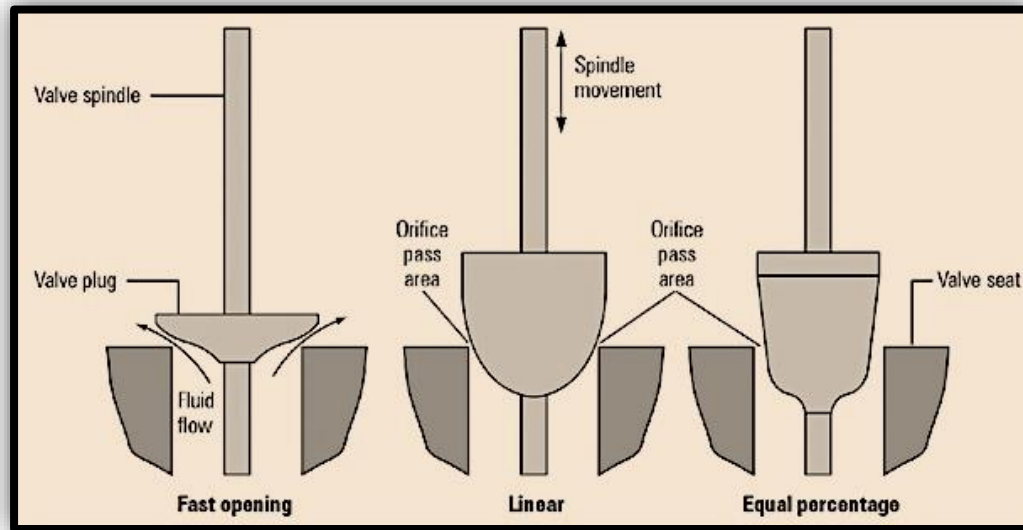
SG = Specific gravity of fluid (Water = 1).

$\Delta P$  = Pressure drop across valve (psi).

## VÁLVULAS DE CONTROL: Curvas Características



# VALVULAS DE CONTROL: TIPOS DE OBTURADORES



VALVE  
QUICK OPENING



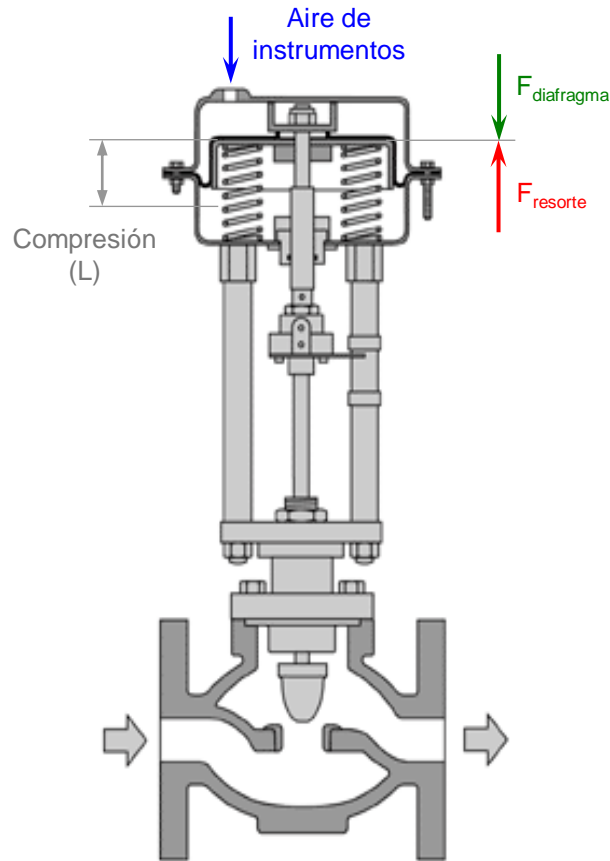
VALVE  
LINEAR



VALVE  
EQUAL PERCENTAGE

# ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

## › Válvulas de control (con actuador neumático de Acción Directa):



Acción directa (aire para cerrar - falla abierta)

### Fuerzas sobre el diafragma y sobre el resorte:

$$F_{\text{diafragma}} \propto P_{\text{aire}} \quad (\text{presión aire de instrumentos})$$

$$F_{\text{resorte}} \propto L \quad (\text{compresión desde posición normal})$$

### Acción directa:

$$\text{› Si } \uparrow P_{\text{aire}} \Rightarrow \uparrow F_{\text{diafragma}} \Rightarrow F_{\text{diafragma}} > F_{\text{resorte}}$$

$\Rightarrow$  la válvula se mueve hacia abajo (cierra)

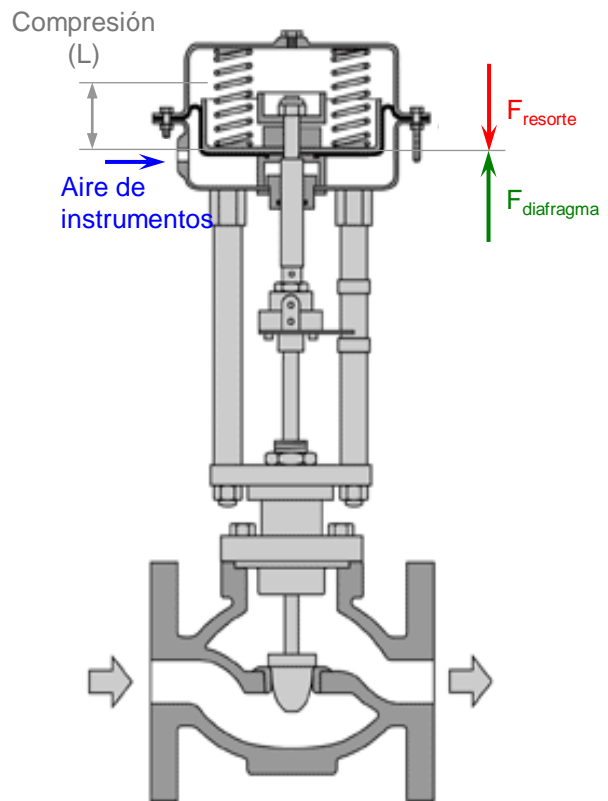
$$\Rightarrow \uparrow L \Rightarrow \uparrow F_{\text{resorte}} \text{ hasta que } F_{\text{diafragma}} = F_{\text{resorte}}$$

$$\text{› Si } \downarrow P_{\text{aire}} \Rightarrow \text{la válvula se mueve hacia arriba (abre)}$$



# ELEMENTOS FINALES DE CONTROL

## › Válvulas de control (con actuador neumático de Acción Inversa):



Acción inversa (aire para abrir - falla cierra)

### Fuerzas sobre el diafragma y sobre el resorte:

$$F_{\text{diafragma}} \propto P_{\text{aire}} \quad (\text{presión aire de instrumentos})$$

$$F_{\text{resorte}} \propto L \quad (\text{compresión desde posición normal})$$

### Acción inversa:

$$\text{› Si } \uparrow P_{\text{aire}} \Rightarrow \uparrow F_{\text{diafragma}} \Rightarrow F_{\text{diafragma}} > F_{\text{resorte}}$$

$\Rightarrow$  la válvula se mueve hacia arriba (abre)

$$\Rightarrow \uparrow L \Rightarrow \uparrow F_{\text{resorte}} \text{ hasta que } F_{\text{diafragma}} = F_{\text{resorte}}$$

$$\text{› Si } \downarrow P_{\text{aire}} \Rightarrow \text{la válvula se mueve hacia abajo (cierra)}$$

# CONTROL DE EQUIPOS

- **MOTORES**
- **CALENTADORES**
- **BOMBAS CENTRÍFUGAS**
- **BOMBAS DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO**
- **COMPRESORES ALTERNATIVOS**
- **COMPRESORES CENTRÍFUGOS**
- **SEPARADORES GAS-LÍQUIDO**
- **SLUG CATCHER**
- **CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN**
- **CIRCUITO DE HOT OIL**
- **DESTILACIÓN**

## › Motores:

Pueden actuar de dos maneras:

### — **Mayor/ menor velocidad** (motores equipados con un VFD).

Los motores eléctricos tienen una velocidad proporcional a la frecuencia de la corriente eléctrica (50 Hz en Argentina).

Un variador de frecuencia (VFD) puede modificar la frecuencia que recibe el motor y acelerarlo o desacelerarlo ante señales del sistema de control ⇒ permite una regulación continua.

### — **Encendido/ apagado.**

Directamente arrancan o paran ante una señal del sistema de control.

No permite una regulación continua (acción on/off).

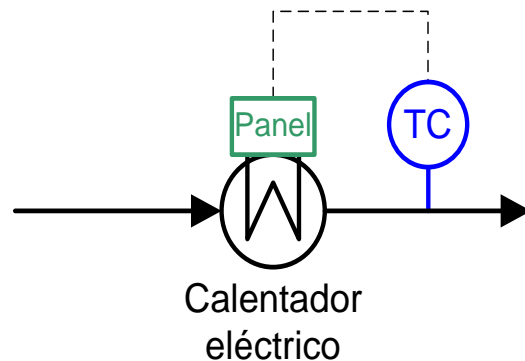
# CONTROL DE EQUIPOS

## › Calentadores eléctricos:

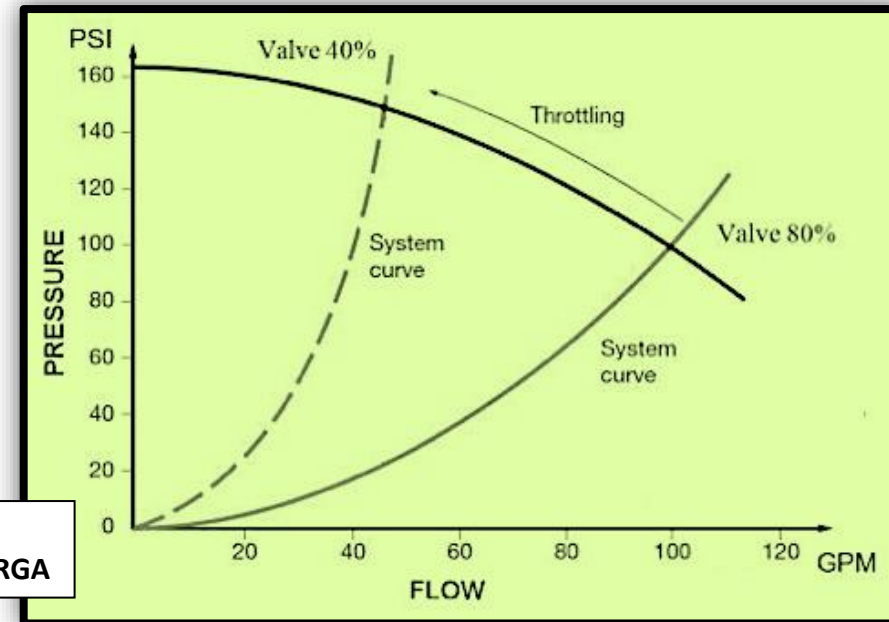
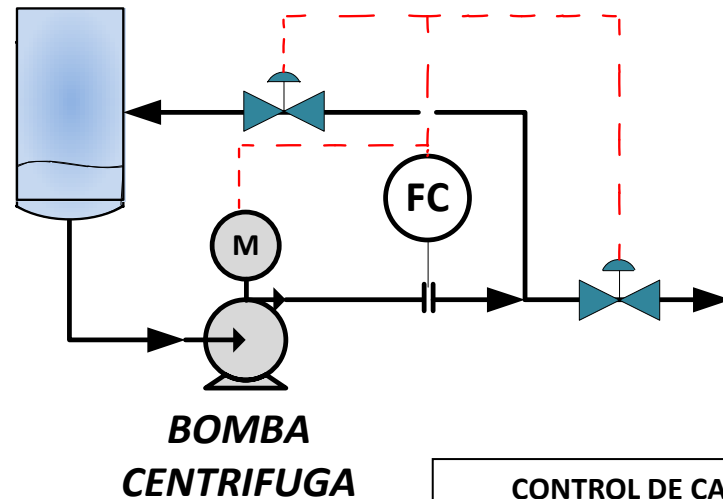
Actúan aumentando o disminuyendo la corriente que toman.

Ante señales del sistema de control, una mayor corriente calienta más las resistencias y éstas hacen aumentar la temperatura del gas de salida.

↑ Corriente ⇒ ↑ Temperatura resistencias ⇒ ↑ Temperatura gas de salida



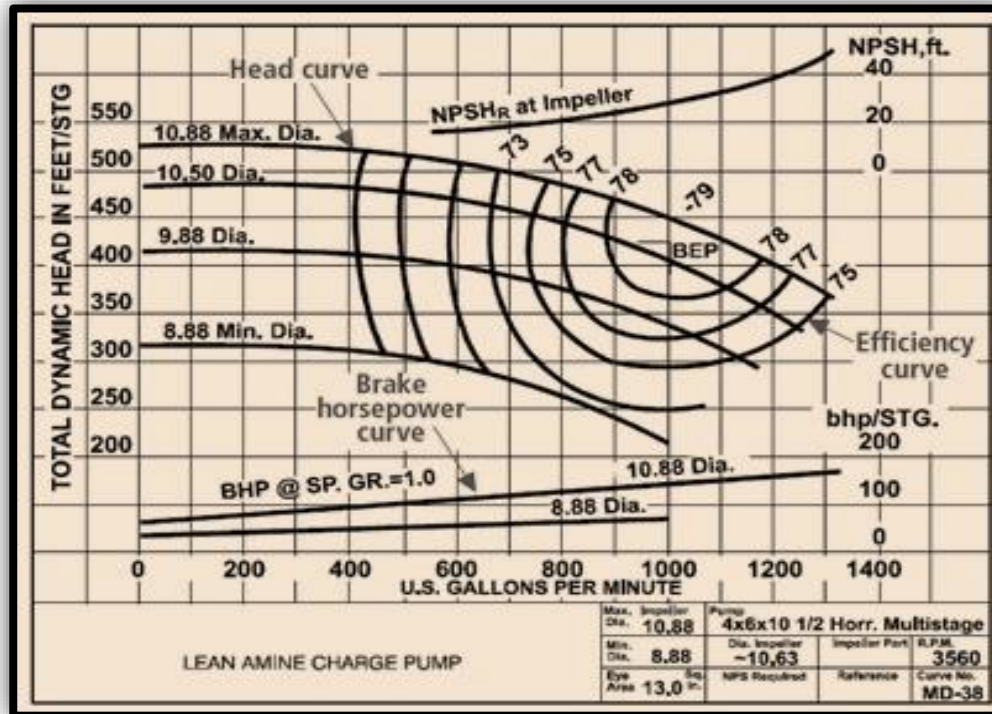
## BOMBA CENTRÍFUGA: Esquema de Control



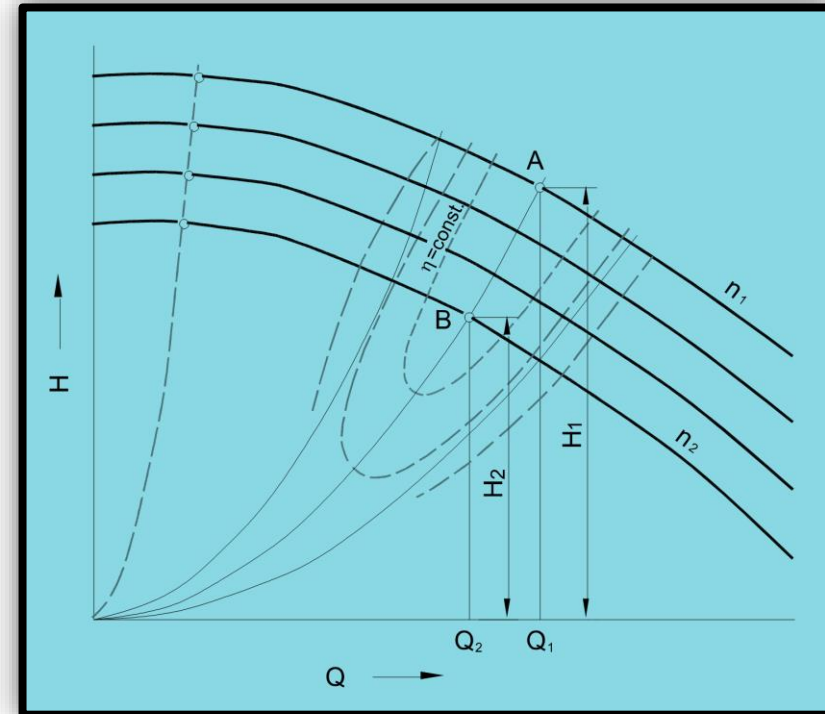
Es habitual controlar el Caudal de una Bomba Centrífuga con una **Válvula de Control a la Descarga**, por la interacción entre su curva de funcionamiento y la curva de circuito, que varía según la posición de la válvula.

Dado que este sistema puede llevar a Caudales inferiores al caudal mínimo de la Bomba (establecidos por el fabricante), es usual habilitar una **Válvula de Recirculación a la Succión** a los efectos de que bajos caudales en el circuito no signifiquen bajos caudales en la bomba

# BOMBA CENTRÍFUGA: Curvas Características



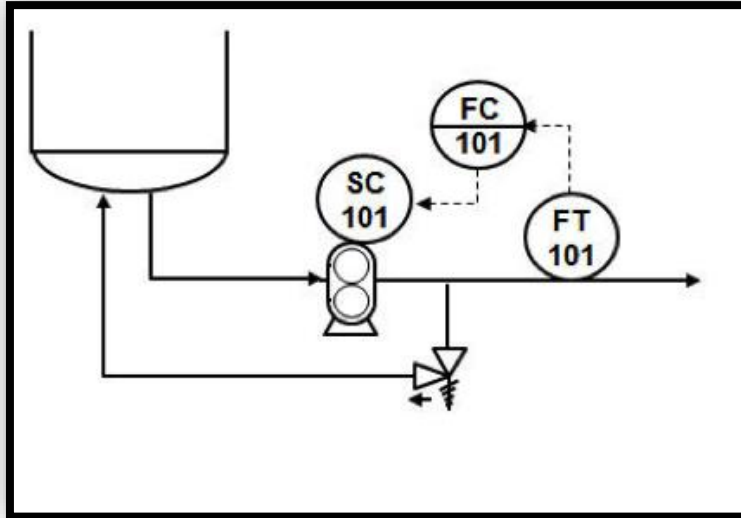
CURVAS CARACTERÍSTICAS DE UNA BOMBA CENTRÍFUGA



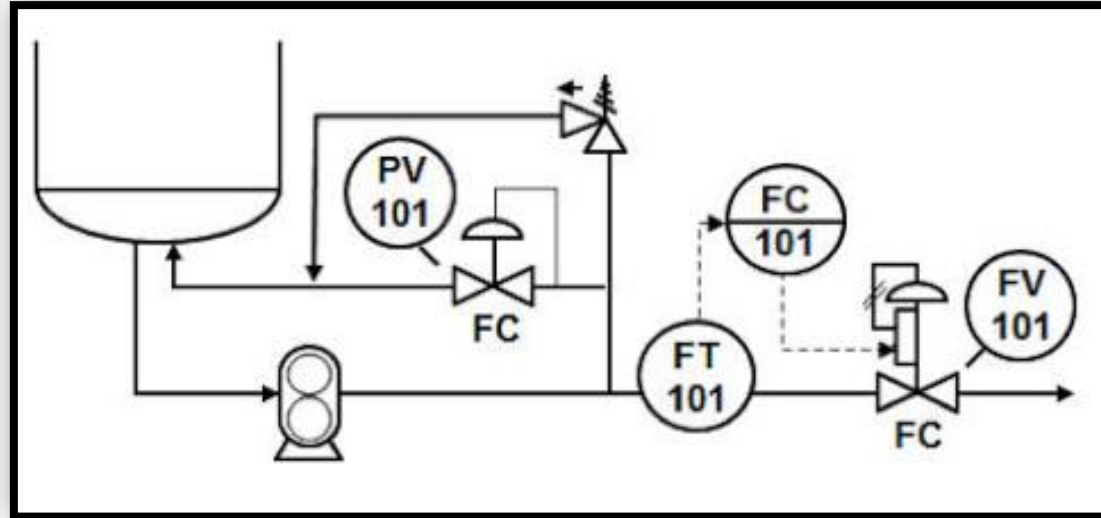
CONTROL DE CAUDAL CON VARIACIÓN DE VELOCIDAD

Otra manera de Controlar Caudal es con **Variación de Velocidad** de la Bomba, lo que evita perder energía en la restricción dada por la válvula de control a la descarga. La curva del circuito permanece constante. La curva de la bomba varía.

## BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO: Esquema de Control



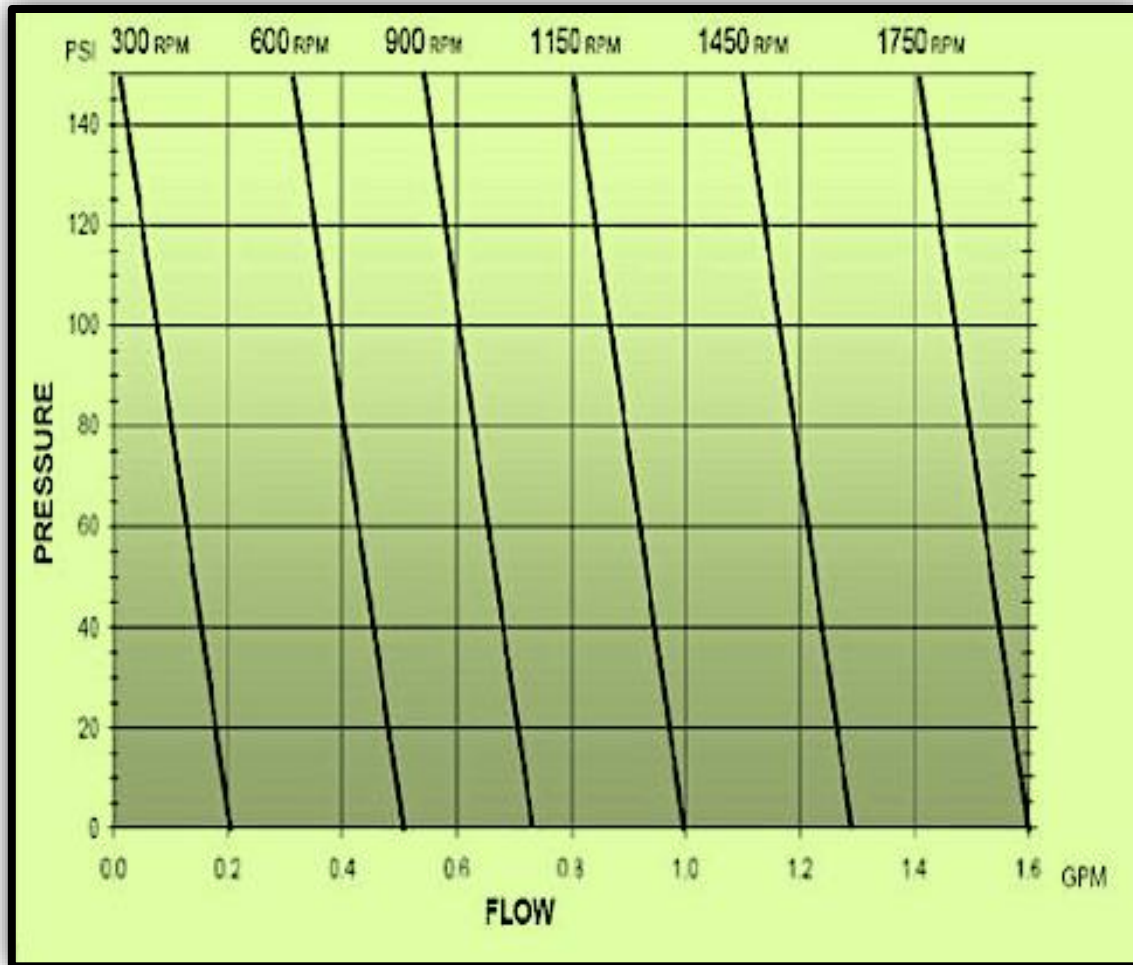
CONTROL DE CAUDAL  
CON VARIACIÓN DE VELOCIDAD



CONTROL DE CAUDAL  
CON RECIRCULACIÓN

Dado que el Caudal de una Bomba de Desplazamiento positivo (engranajes, tornillo, pistón, etc), **depende casi exclusivamente de las revoluciones de su eje o de las emboladas, y no de la presión de descarga**, no es posible regular caudal estrangulando la descarga con una válvula de control. Si hiciéramos eso, deberíamos recircular el caudal que el circuito “no admite”.

## BOMBA DE DESPLAZAMIENTO POSITIVO: Curvas Características

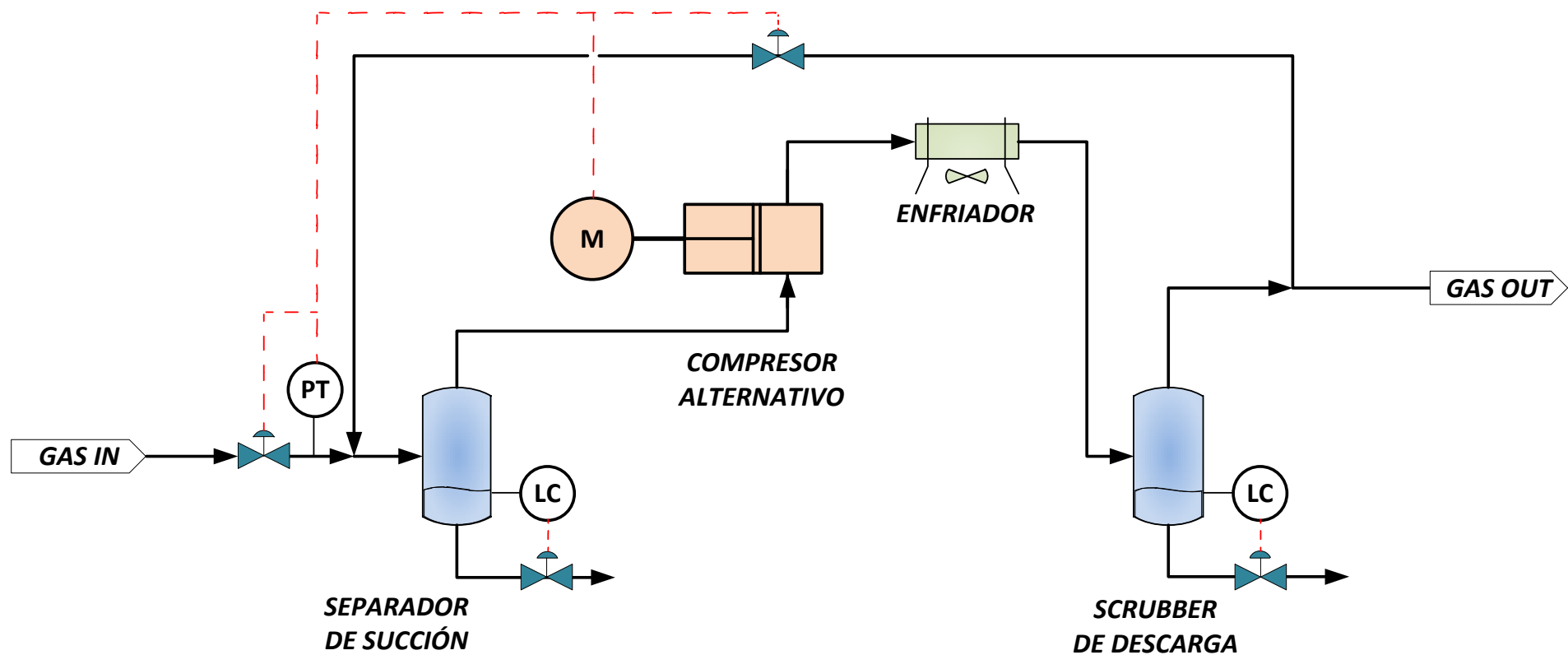


Las **Curvas Características** de las Bombas de Desplazamiento Positivo son esencialmente verticales (en un gráfico P-Q) dando el mismo caudal aunque se varíe la presión de descarga.

Una manera de controlar el caudal es mediante **Control de la Velocidad** del Accionamiento, dado que el Caudal está directamente relacionado con dicha velocidad.



# COMPRESORES ALTERNATIVOS: Diagrama



## COMPRESORES ALTERNATIVOS: Control

Las variables claves a tener en cuenta en el funcionamiento de un Compresor Alternativo son:

- **Presión de Succión**
- **Presión de Descarga**
- **Temperatura de Descarga**
- **Volumen aspirado en condiciones de succión**
- **Velocidad del Accionamiento**
- **Presión de Descarga**
- **Temperatura de Succión**
- **Caudal másico que circula**

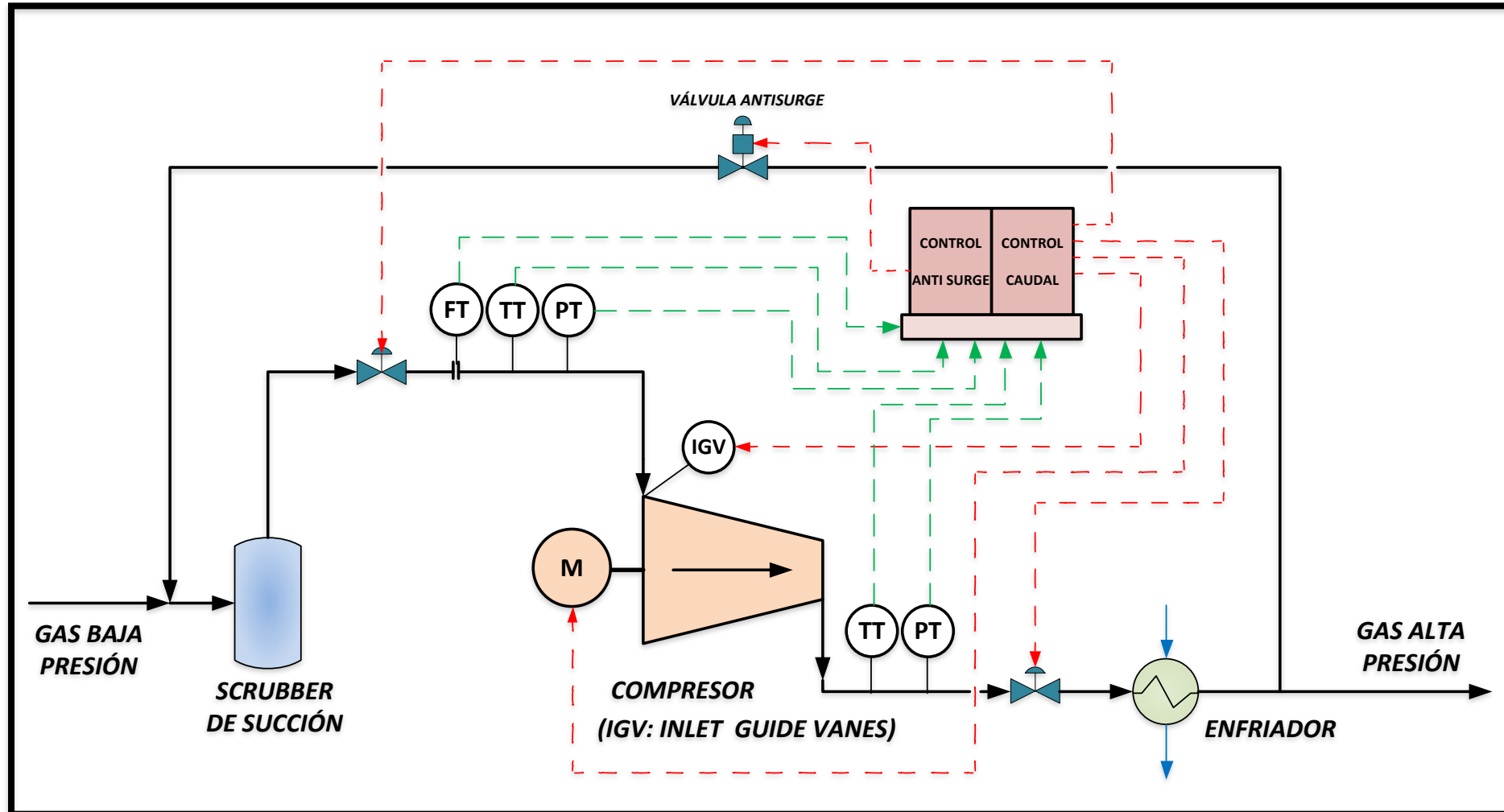
La variable que más influye en el Control de Caudal (másico) es la **Presión de Succión**, y por eso es la variable típica que se controla.

Debe tenerse en cuenta que la Presión de Succión tiene una ventana de valores para que el Compresor opere en forma segura, y por eso debe ser controlada.

En el caso en que el valor requerido de Presión de Succión, para que circule el Caudal de proceso, sea inferior al valor operativo mínimo, se hace actuar la **Válvula de Recirculación**, o la **Velocidad del Accionamiento**.

Otras maneras de variar el volumen efectivo comprimido es a través de la **Regulación de Espacios Nocivos** y el **Levantamiento de Válvulas**.

# COMPRESOR CENTRÍFUGO: Esquema de Control



## COMPRESOR CENTRÍFUGO: Esquema de Control

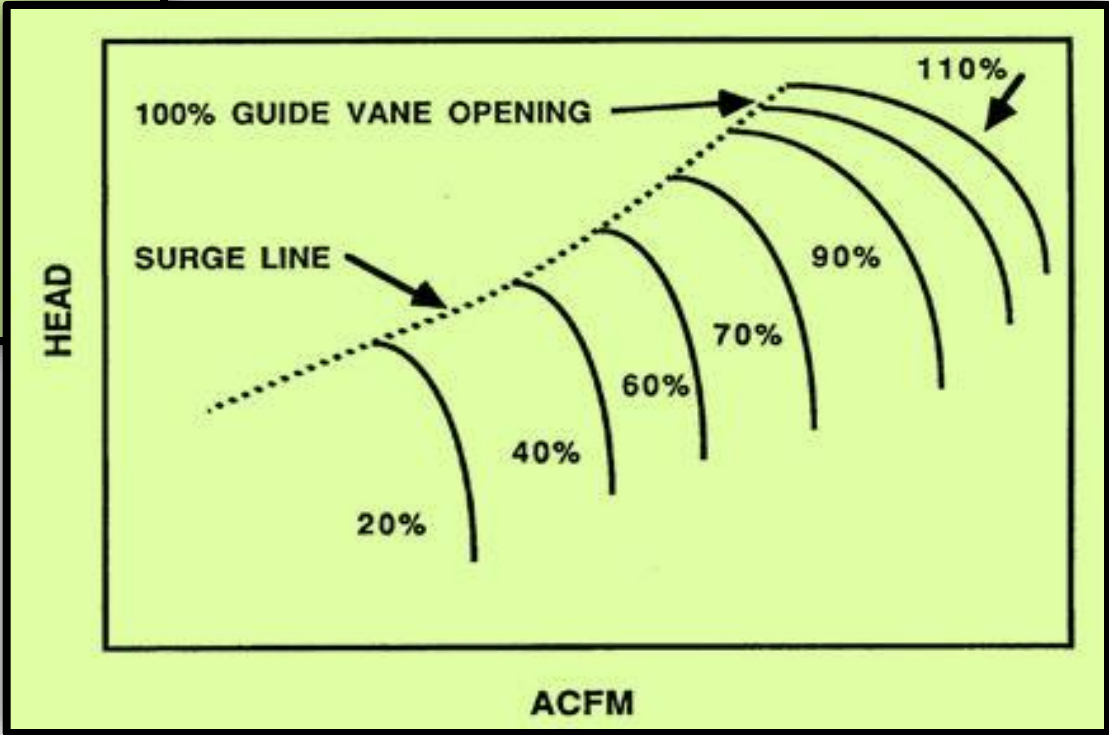
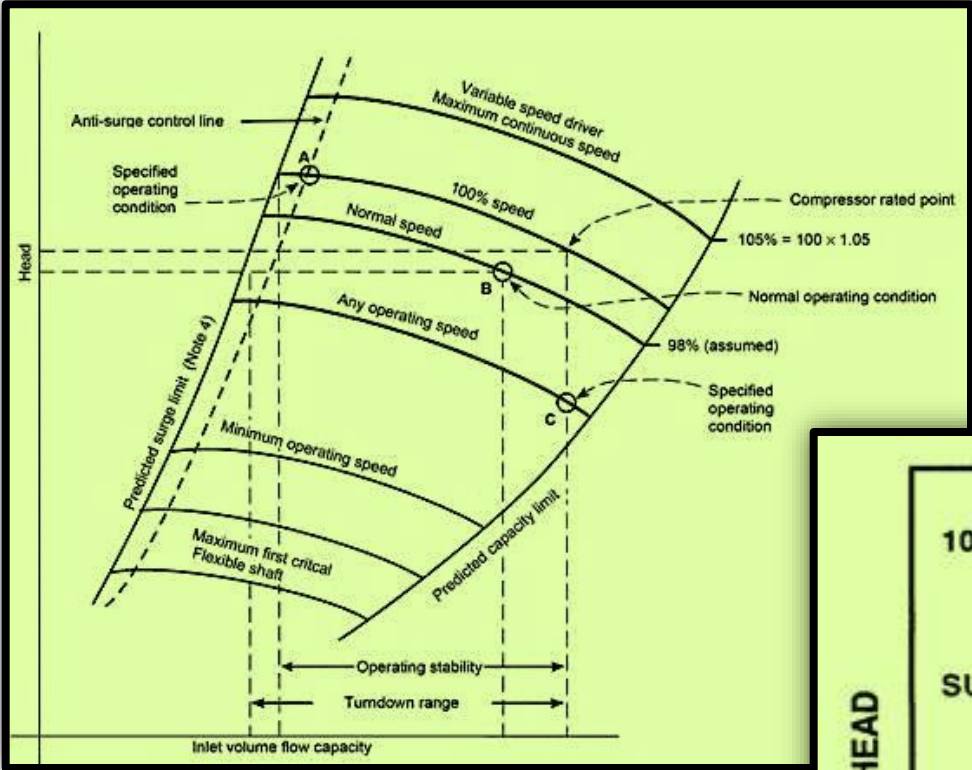
En el Control de un Compresor Centrífugo es clave mantener la parámetros de **Caudal y Altura de Compresión**, dentro de los valores de operación estable (entre las curvas de Caudal Mínimo por Surge y de Caudal Máximo por Choke)

Las variables con que se cuentan para establecer un punto óptimo y seguro son:

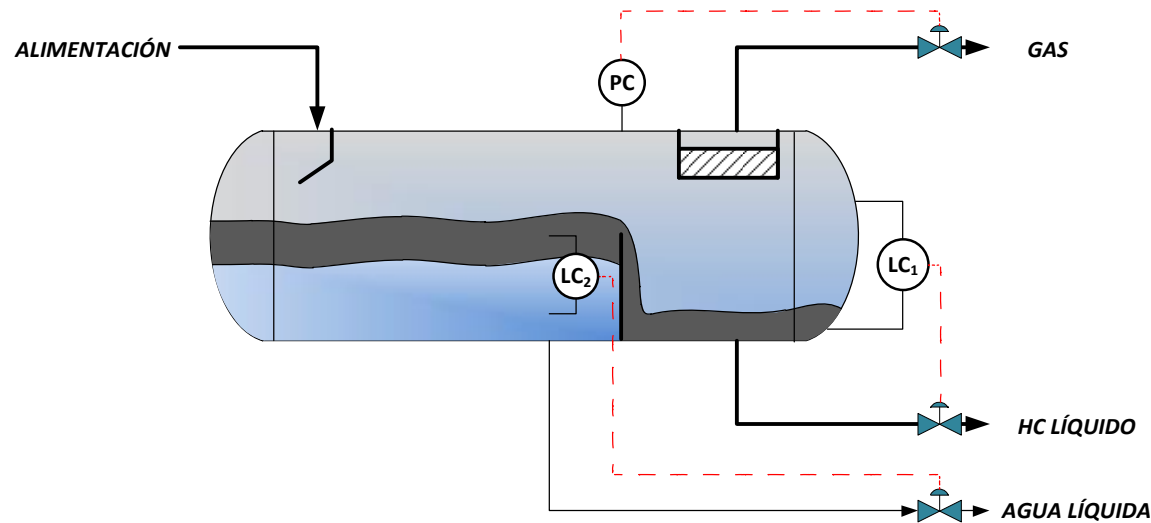
- **Presión de succión**
- **Presión de descarga**
- **Velocidad del Compresor**
- **Posición de las paletas de ingreso (IGV)**

Hay que considerar que el Gas es un fluido compresible, y por lo tanto, las variaciones de la Presión de Succión influyen directamente en la cantidad de Gas comprimido (debido a la relación directa entre Presión y Densidad)

# COMPRESOR CENTRÍFUGO: Curvas de Funcionamiento



# CONTROL DE SEPARACIÓN GAS – LÍQUIDO

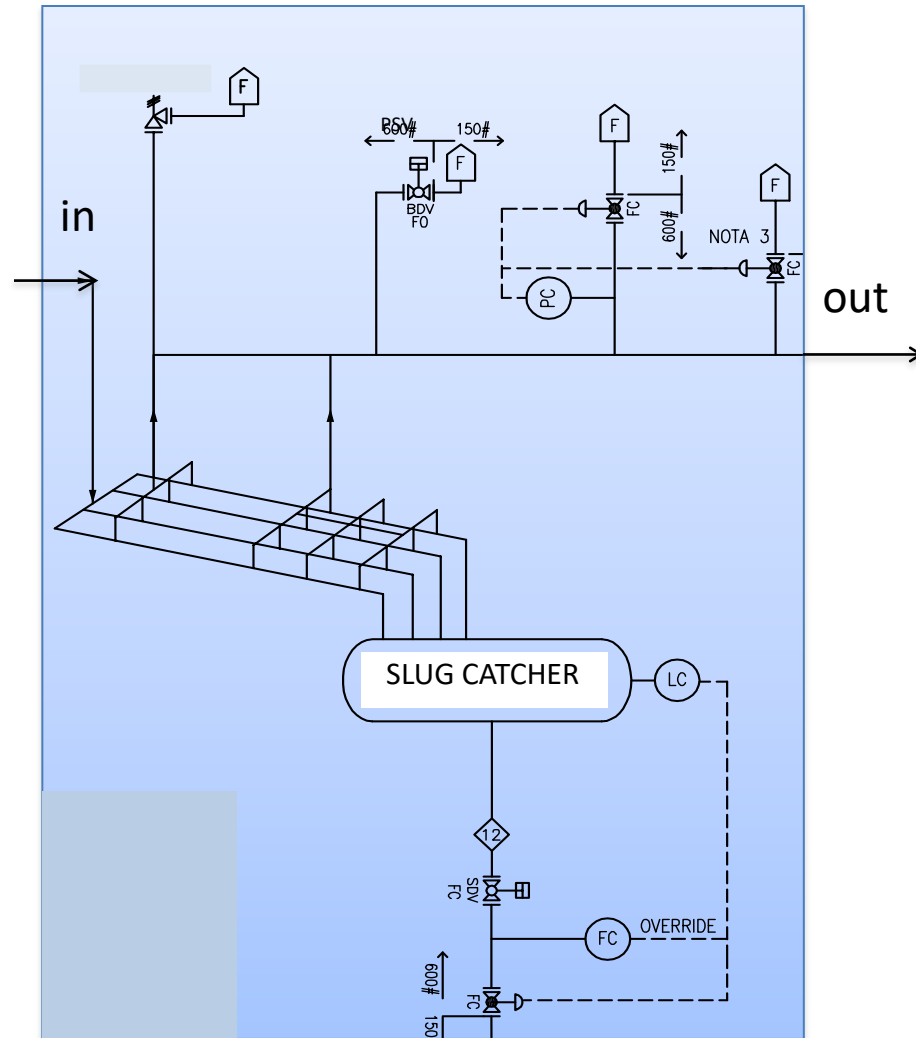


La separación Gas-Líquido por gravedad, se basa en la diferencia de densidades de las fases: entre la fase gaseosa y la fase líquida, y entre ésta y alguna otra fase líquida que intervenga en el proceso.

Para una buena separación es clave tener una **presión estable**.

Además **los niveles deben estar controlados** para que la **velocidad** en la fase gaseosa y los **tiempos de residencia** en cada fase líquida sean constantes y estén dentro de los parámetros de diseño.

## CONTROL DE SLUG CATCHER



Un **Slug Catcher** tiene como misión ser el amortiguador de líquido en la entrada a las instalaciones que son alimentadas por líneas de flujo multifásico no uniforme, como las flow-lines de los pozos.

Más que una buena separación se requiere manejar los volúmenes instantáneos de líquido, y que esas perturbaciones no se trasladen aguas abajo.

Es común evacuar el líquido bajo **control de caudal**, pero con un override manejado por **control de nivel**

## CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN: Funcionamiento

La base del **proceso de Refrigeración** es la “entrega de frío” al fluido de proceso, por parte del refrigerante, mediante su evaporación.

Para ello, el refrigerante debe estar a una presión tal que su temperatura de evaporación sea inferior a la requerida en el fluido de proceso.

Se eligen refrigerantes que a la temperatura de enfriamiento, tengan su **presión de equilibrio, por encima de la atmosférica.**

Para enfriar gas natural a temperaturas entre  $0^{\circ}\text{C}$  y  $-30^{\circ}\text{C}$ , se utiliza propano, ya que la temperatura de vaporización de propano a 1 bar(abs) es  $-40^{\circ}\text{C}$



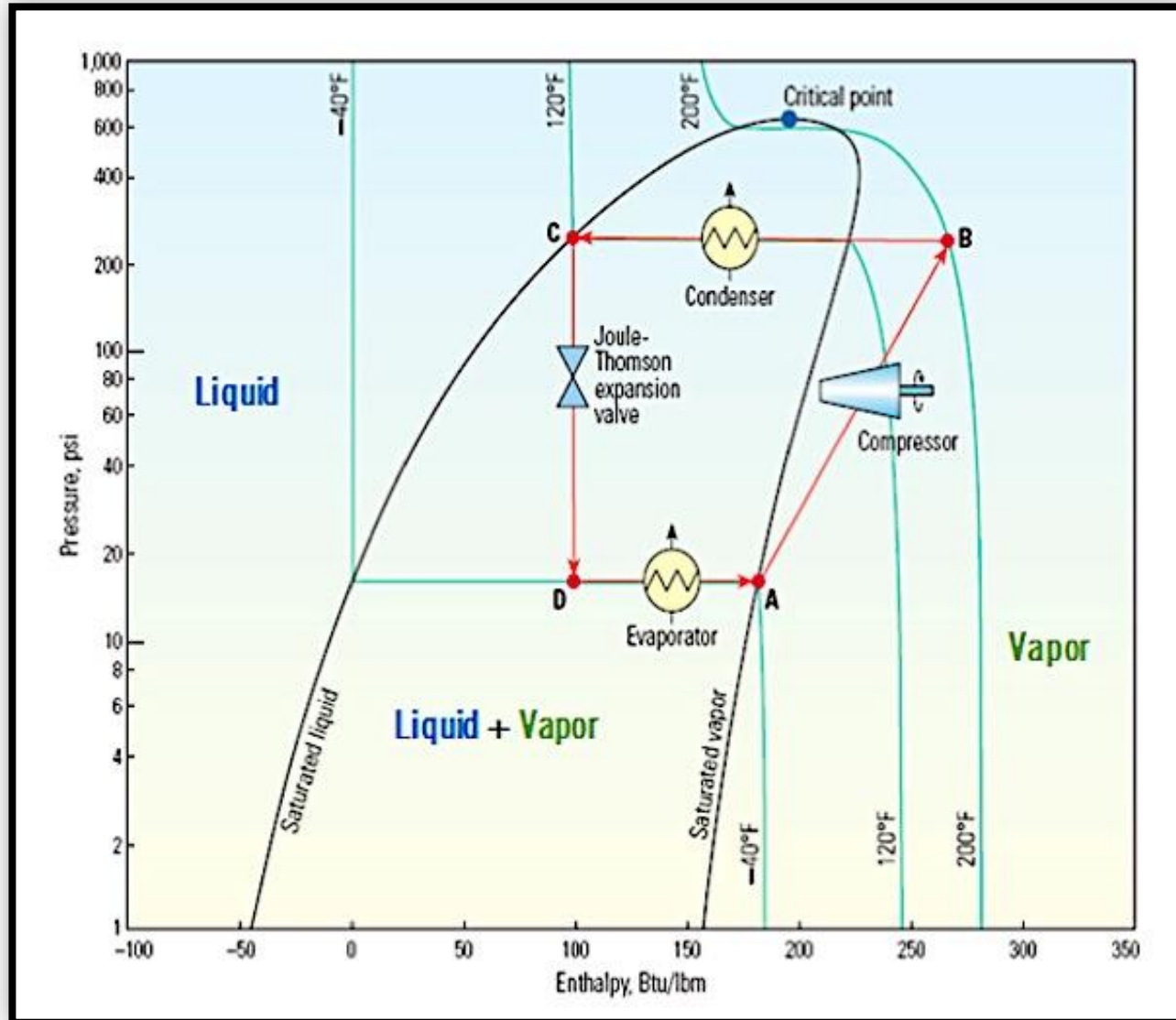
## CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN: Funcionamiento

Como los vapores generados en el Chiller (donde se produce la evaporación) deben condensarse para volver al circuito, debe elegirse un fluido externo que “retire el calor” y lo vuelva líquido.

En general se usa Aire atmosférico a través de un aerorrefrigerante, debiendo ser la temperatura de condensación superior a la del aire que es el medio enfriador. Si tenemos aire a 40°C debemos condensar propano a algo más que esa temperatura, digamos 45°C, lo que significa que el propano vapor condensándose, debe estar cercano a los 17 bar(abs) (ver diagrama de propano)

Entonces, los vapores generados en el Chiller a una presión de 2 a 3 bar(abs) deben comprimirse para llevarlos a la presión en que puedan ser condensados con aire, y luego se lo reingrese al Chiller; para este proceso se usa un Compresor, que usualmente es un compresor a tornillo

# CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN: Diagrama de Propano



## CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN: Control

Las variables que gobiernan el Circuito de Refrigeración son:

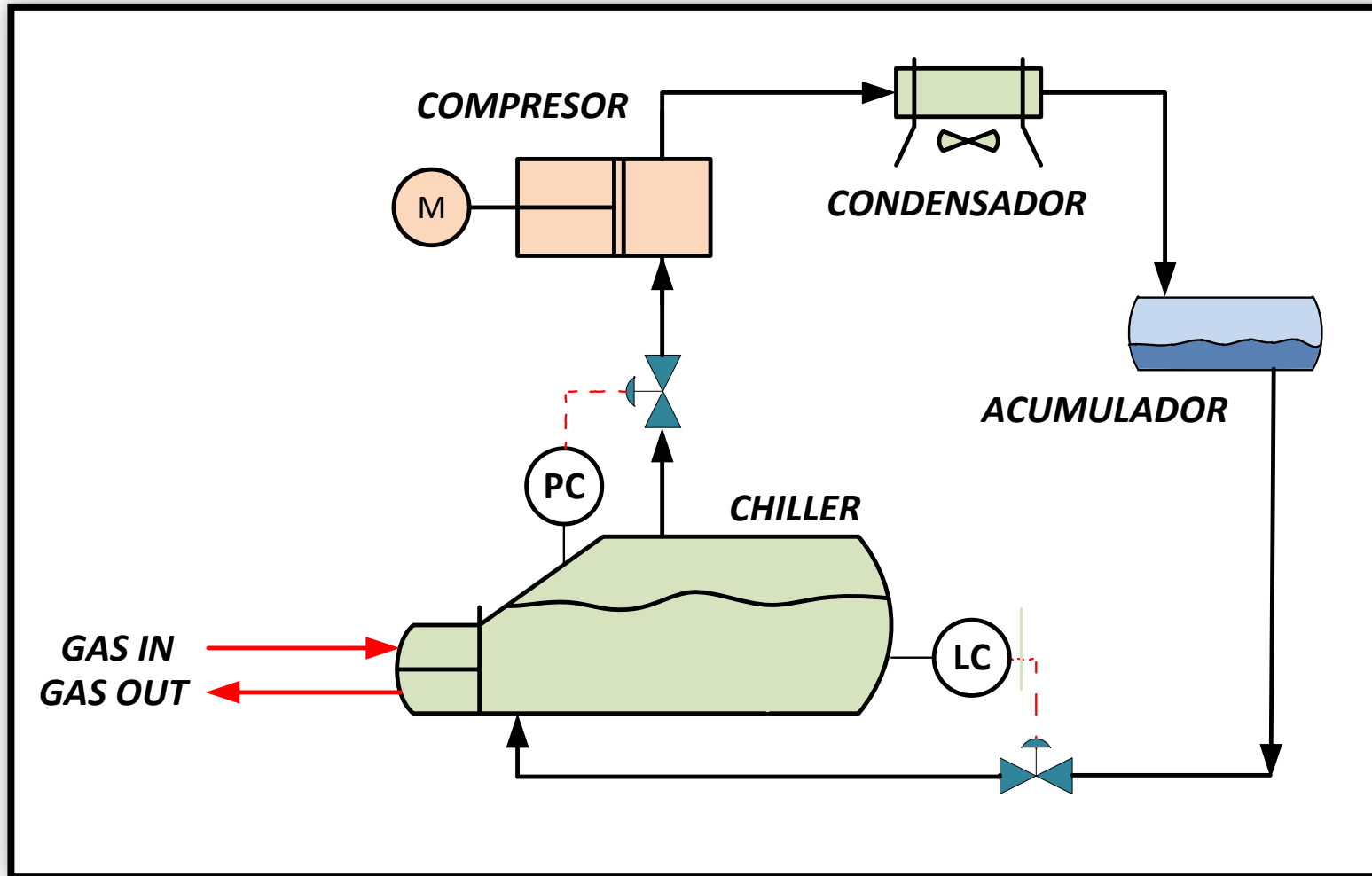
- **Presión en el Chiller (de evaporación)**
- **Temperatura de Aire ambiente**
- **Área de transferencia del Aerorrefrigerante**
- **Capacidad volumétrica del Compresor**
- **Nivel de Refrigerante en el Chiller**

El caudal de circulación de propano (salvo recirculaciones) está determinado fundamentalmente por el requerimiento de frío del proceso.

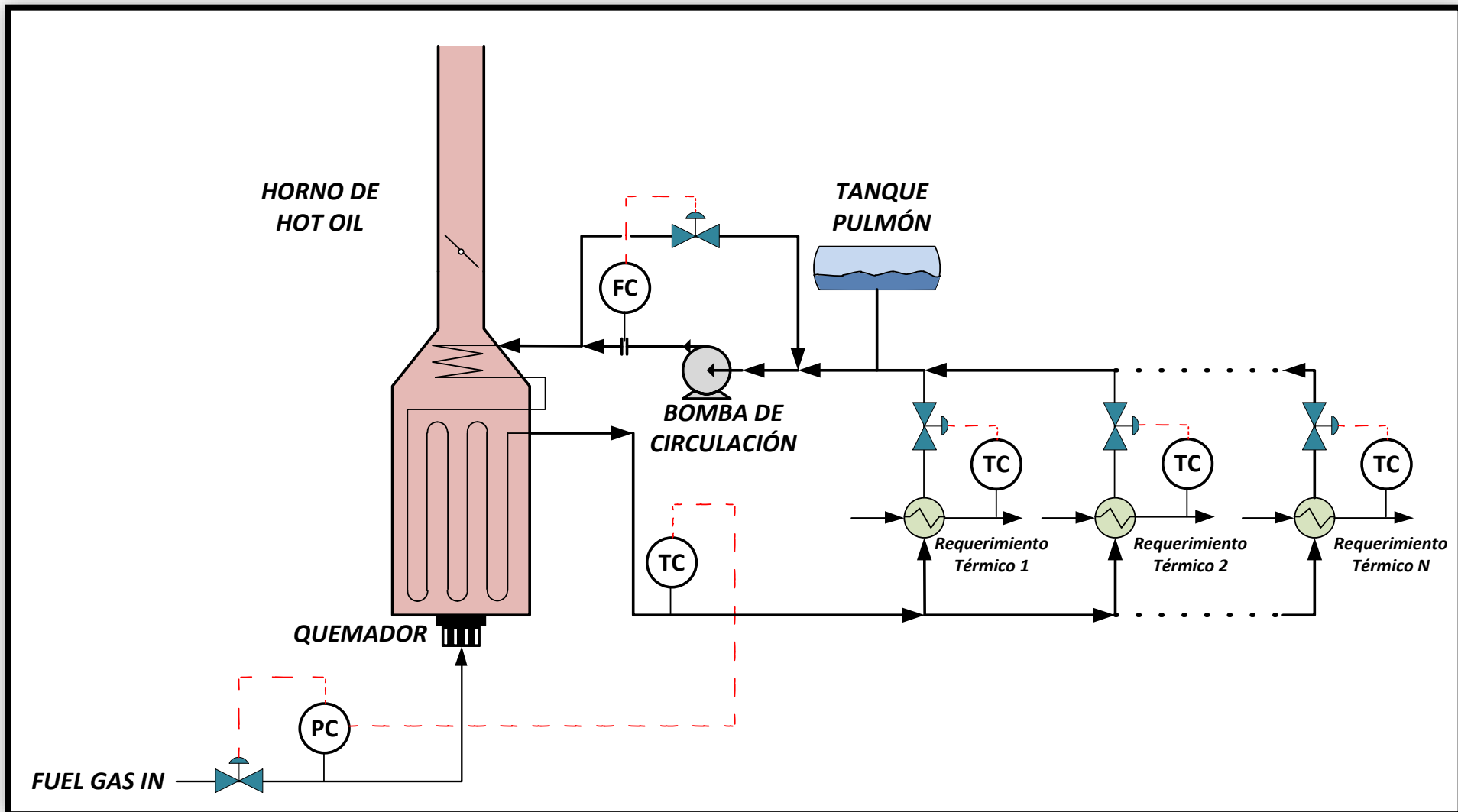
En el diagrama se muestran los controles usuales (**Presión y nivel en el Chiller**). La presión en el Chiller puede controlarse como está mostrado con una válvula de control en la línea de vapores del Chiller o mediante cambios en el punto de inyección en el Compresor a Tornillo.

Nota: Es común en climas cálidos intercalar un **Economizador de Propano**, con controles de presión y nivel, entre el Acumulador y el Chiller, de tal manera de separar a media presión los vapores que flashean en la expansión

# CIRCUITO DE REFRIGERACIÓN: Diagrama



# CIRCUITO DE ACEITE TÉRMICO (HOT OIL): Diagrama



## CIRCUITO DE ACEITE TÉRMICO (HOT OIL): Control

El **Circuito de Hot Oil** consta fundamentalmente de un Horno a fuego directo, donde el Hot Oil se calienta a la temperatura especificada (que está aproximadamente entre 150°C y 250°C según el proceso), y una Bomba de Circulación (generalmente centrífuga).

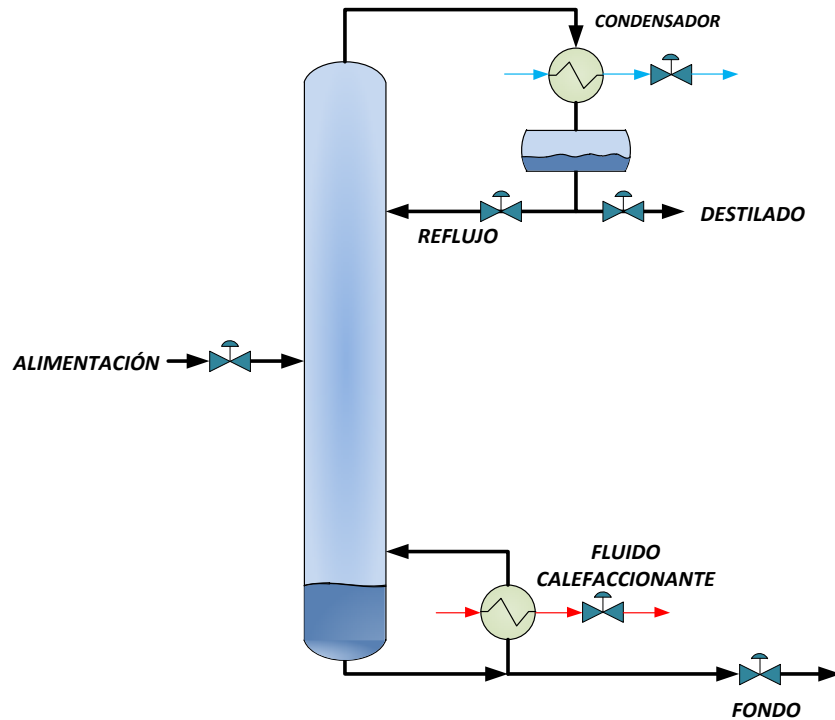
Las **variables a controlar** son:

- Caudal de circulación
- Temperatura de Hot Oil caliente
- Temperatura de los diferentes procesos

Como el Caudal que circula por cada proceso dependerá de la temperatura controlada en cada uno, el caudal de circulación por la bomba, para asegurar su funcionamiento dentro de los límites seguros y eficientes, se controla con by pass a la succión.

La **Temperatura de Hot Oil** a la salida del Horno se controla mediante la alimentación de combustible. Este control suele ser de caudal, en cascada con la presión de alimentación (o directamente de presión), y con control de relación aire-combustible.

## CONTROL DE DESTILACIÓN: Funcionamiento

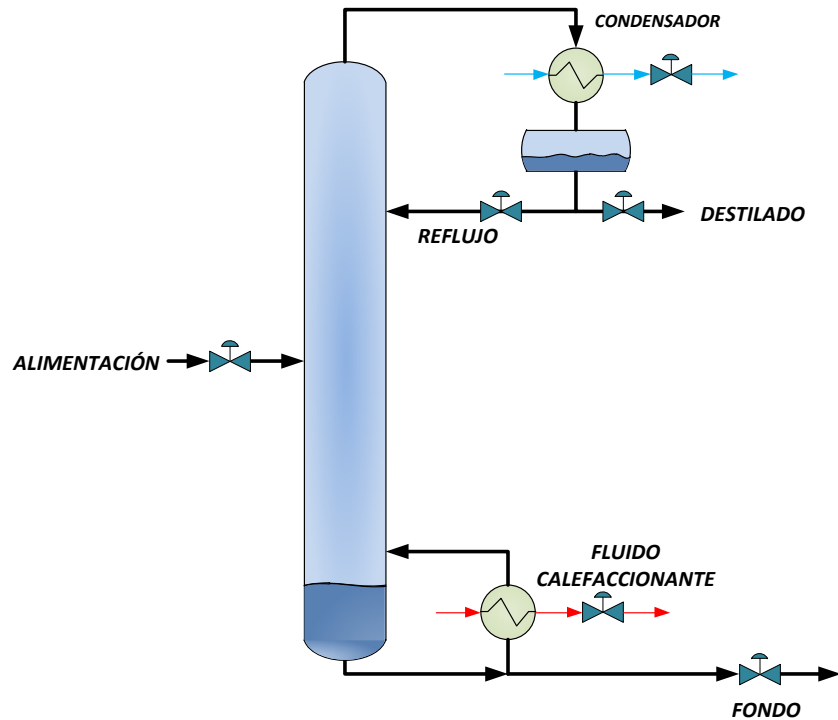


La **Destilación** es un proceso de separación basado en la diferencia de volatilidades de los componentes.

A una presión dada (relativamente uniforme en la torre) se establece un flujo de etapas sucesivas en contracorriente, donde cada etapa tiene una temperatura distinta y por lo tanto una composición distinta en el vapor y líquidos resultantes, respecto de las etapas contiguas.

Para ello es necesario generar un vapor caliente (en el reboiler de fondo) y un líquido frío (en condensador de tope).

# CONTROL DE DESTILACIÓN: Control



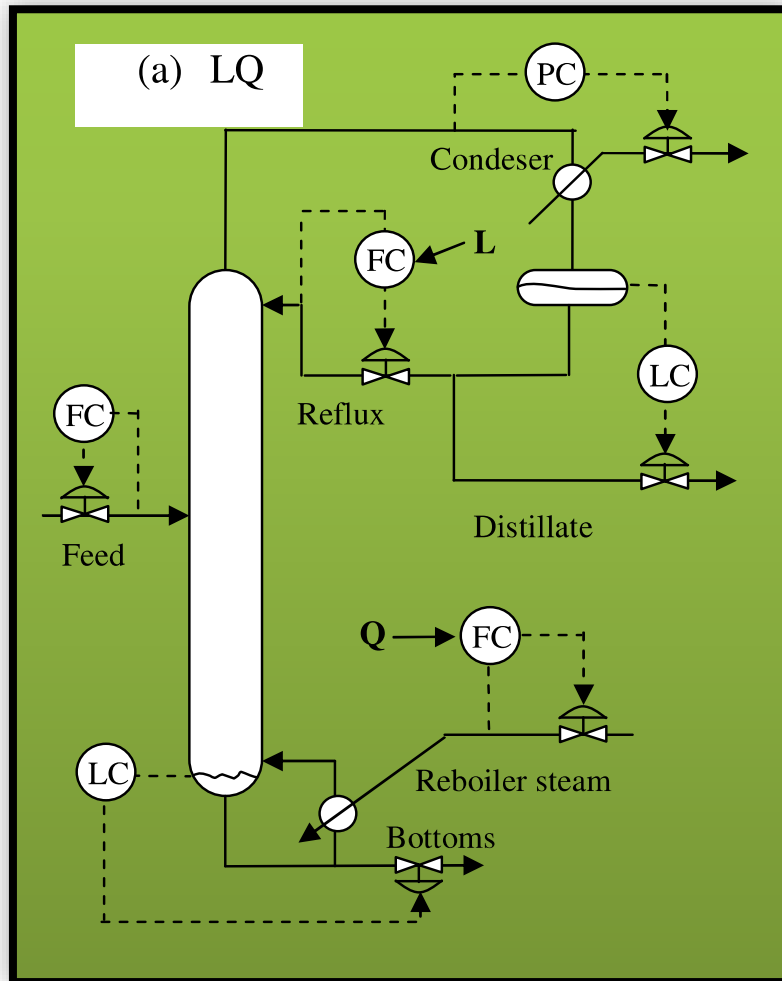
Las variables que gobiernan el proceso de separación, o sea la calidad y cantidad de las corrientes de salida, son:

- **Presión de la Columna**
- **Caudal de alimentación**
- **Caudal de destilado**
- **Caudal de fondo**
- **Cantidad de Reflujo**
- **Temperatura de Reflujo**
- **Nivel del acumulador de Reflujo**
- **Cantidad de Vapores de Fondo**
- **Temperatura de Vapores de Fondo**
- **Nivel del Fondo**

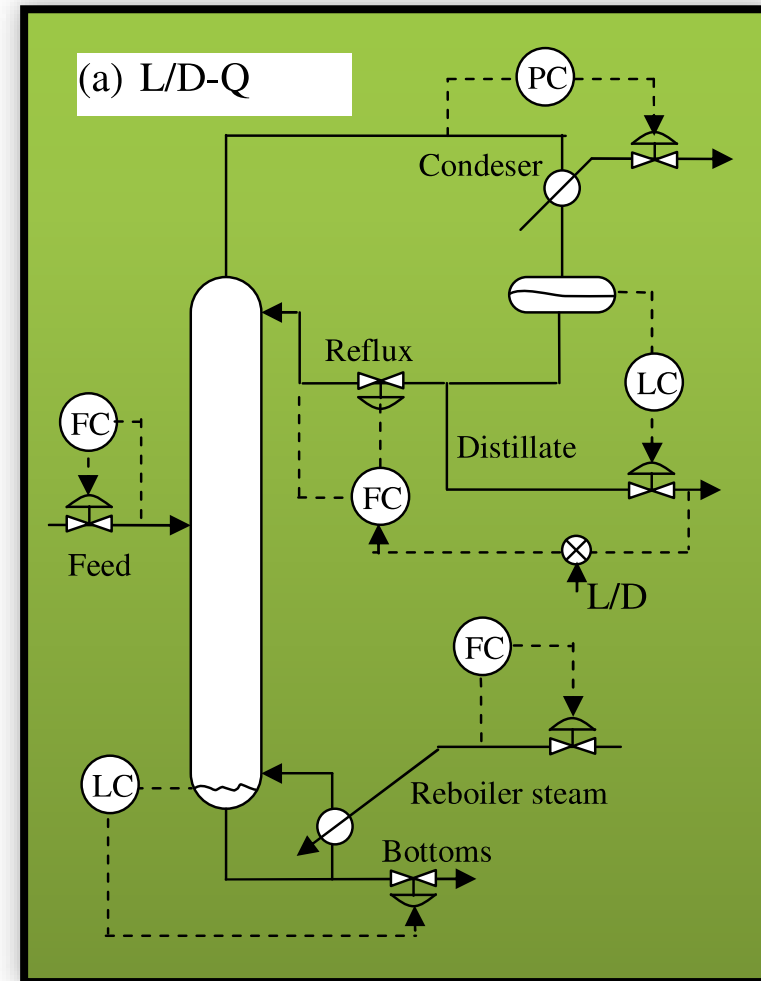
Todas estas variables no son independientes. Dependiendo de qué se priorice en la separación, se deben elegir las variables a controlar, resultando las restantes como producto del proceso.



# CONTROL DE DESTILACIÓN: Esquemas de Control

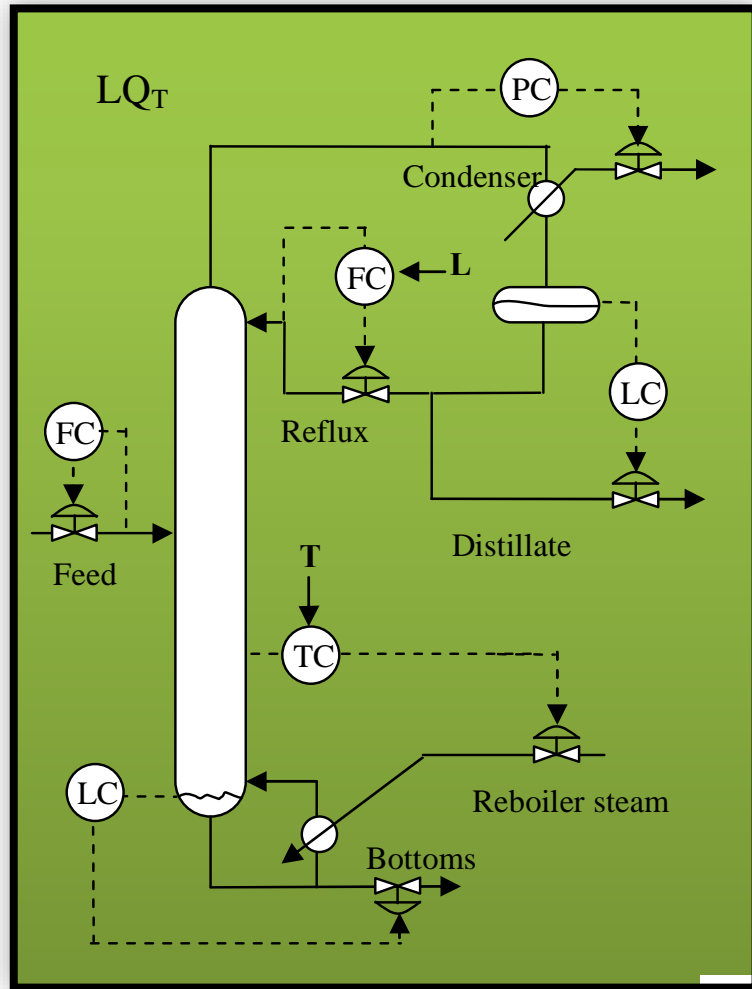


CONTROL Reflujo - Q fondo

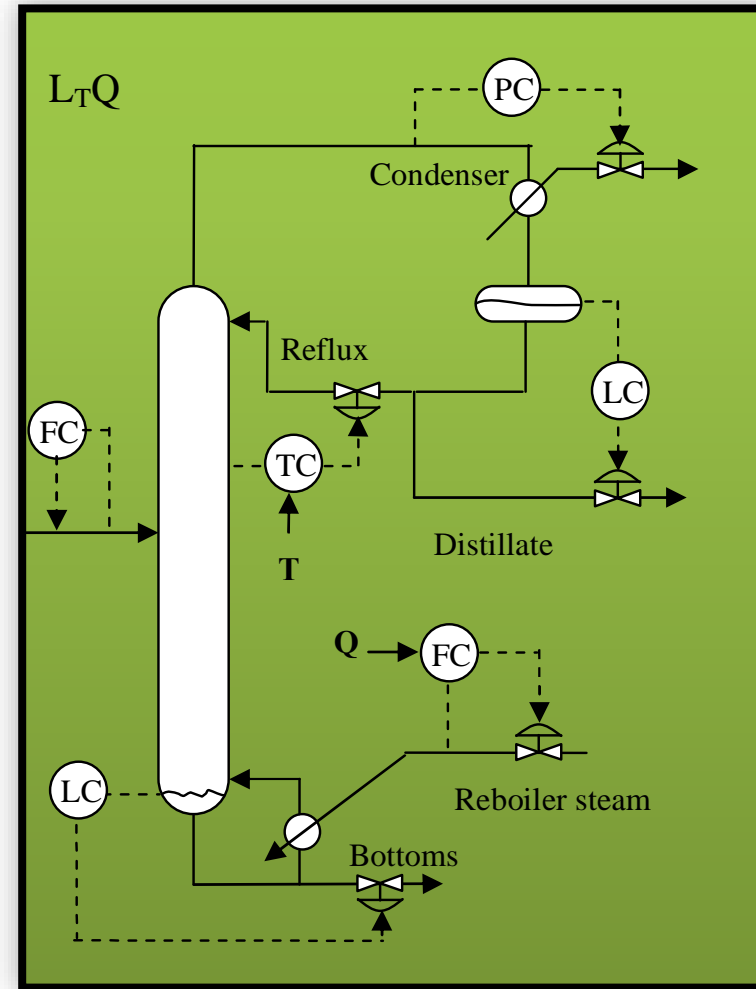


CONTROL Rel. de Reflujo - Q fondo

# CONTROL DE DESTILACIÓN: Esquemas de Control



CONTROL Reflujo – Temp. fondo



CONTROL Temp. Tope - Q fondo