

# *Instrumentación*

## *Generalidades*

### *Introducción*

La práctica totalidad de los procesos que tienen lugar en una planta industrial exigen un control de los mismos. Esto se debe a la necesidad de controlar los distintos parámetros de cada proceso, a fin de garantizar un buen funcionamiento de los mismos, el óptimo aprovechamiento de los recursos implicados en la operación y unos niveles de calidad en el producto final. Además, en muchas ocasiones el control del proceso garantiza una operación segura de la planta.

Debido a la complejidad que han adquirido los procesos y al gran número de variables que se maneja se ha hecho necesario la automatización de los sistemas de control de proceso. De esta forma se ha conseguido un control más preciso y rápido que con el sistema manual, haciendo posible manejar desde una misma sala todo el conjunto del proceso, a través de control remoto.

La utilización de un adecuado sistema de control nos permitirá operar en las mejores condiciones posibles a cada requerimiento. De este modo se optimizará el rendimiento general del proceso, con un mejor aprovechamiento de los recursos implicados en el mismo. Todo ello repercutirá en una notable mejora económica de los resultados.

La adopción de un sistema de control requerirá una importante inversión inicial, pero resultará en unos menores costes de operación de la planta. El balance económico final será positivo, dado que el ahorro conseguido en operación será superior a los costes de instalación del sistema de control. Por este motivo será importante en todo momento controlar el grado de utilización que se está haciendo del sistema, ya que de este dependerá la economía de la operación.

El control del proceso consistirá en la recepción de unas entradas, variables del proceso, su procesamiento y comparación con unos valores predeterminados por el usuario, y posterior corrección en caso de que se haya producido alguna desviación respecto al valor preestablecido de algún parámetro de proceso.

El sistema de control recurrirá a una serie de elementos que se repetirán en casi todo esquema de trabajo como son:

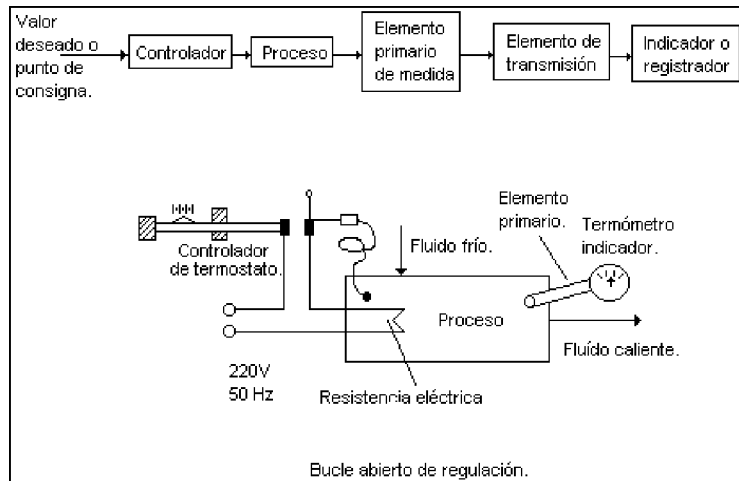
- Indicadores
- Registradores
- Controladores
- Transmisores
- Elementos finales

En este capítulo pues pasaremos a explicar el funcionamiento de cada uno de estos elementos. Así mismo, se pasará a estudiar los sistemas utilizados para controlar las distintas variables de proceso.

*Esquemas de control*

Existen básicamente dos esquemas de control que son los siguientes:

- Bucle abierto. El sistema de control actúa independientemente del sistema de medida que indica al usuario el valor del parámetro a controlar en el proceso.



- Bucle cerrado. El controlador compara el valor objetivo y la lectura realiza por el sistema del parámetro a controlar, actuando en consecuencia. Un esquema de este tipo de control se presenta en la siguiente página.

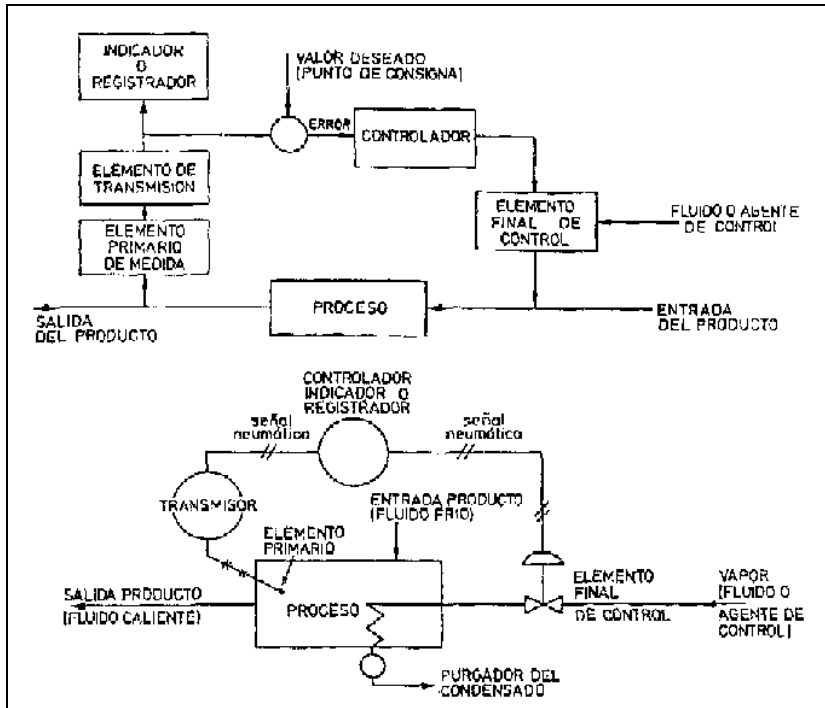
*Definiciones en control*

A continuación pasamos presentar la terminología empleada en los instrumentos de control para definir las distintas características de los sistemas:

Para hacer estos conceptos más fáciles de entender presentamos seguidamente una escala correspondiente a un termómetro, a la que se referirán los sucesivos ejemplos.

**Campo de medida (range):** Intervalo de valores de la variable de medida en el instrumento es capaz de operar. En el caso del termómetro de la figura superior: 100-300°C

**Alcance (span):** Es la diferencia entre los valores superior e inferior del campo de medida. En nuestro caso serían 200°C.



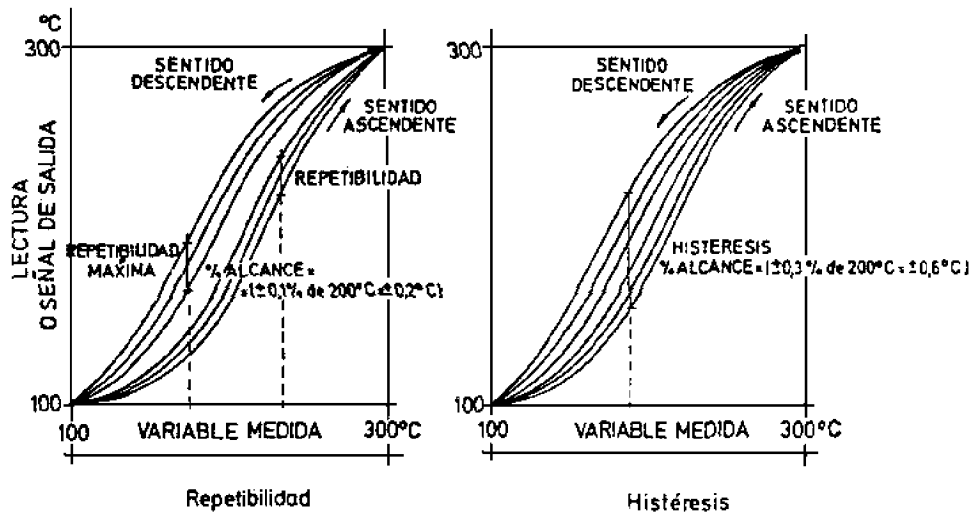
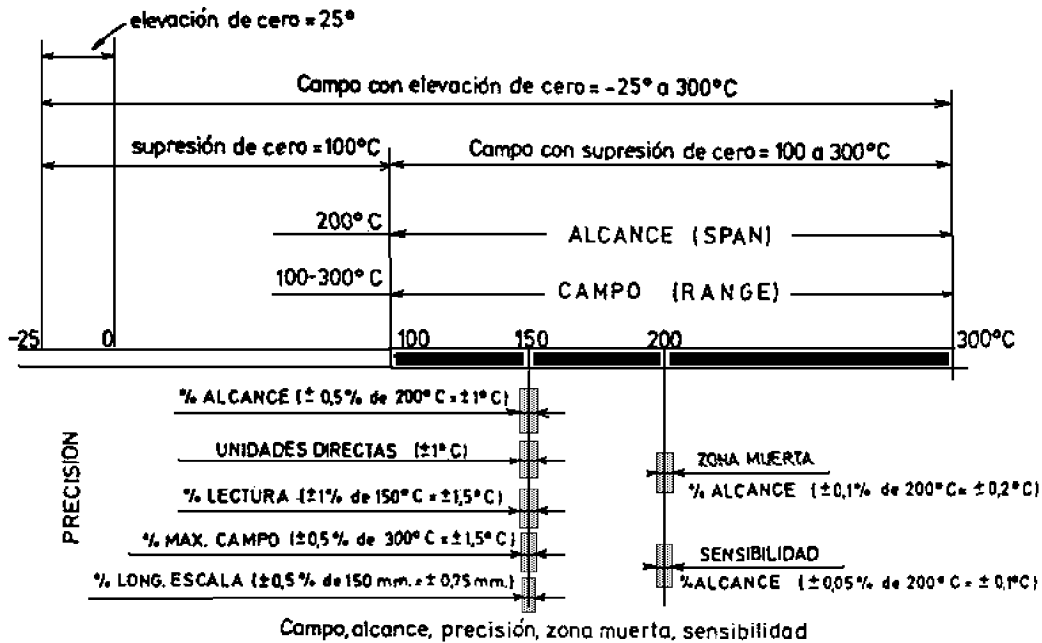
**Error:** Diferencia existente entre el valor leído por el instrumento y el valor real de la variable medida.

**Precisión (accuracy):** Define los límites del error cometido por el instrumento en condiciones normales de trabajo. Es decir, si en un termómetro decimos que tenemos una precisión de  $\pm 1\%$ , nos indica que el valor real de la temperatura puede desviarse como máximo en un uno por ciento del valor suministrado por el equipo.

**Zona muerta (dead zone o dead band):** Determinar el campo de valores de la variable real para los que no varía la medida del instrumento. Viene dada en % del campo de medida. Así, si nuestro instrumento es de  $\pm 0,1\%$ , es decir  $0,1 \times 200 / 100 = \pm 0,2^\circ\text{C}$ , la zona muerta estará compuesta por los valores situados en el intervalo de  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  en torno al valor medido (para  $200^\circ\text{C}$  la zona muerta es  $199,8^\circ\text{C} - 200,2^\circ\text{C}$ ).

**Sensibilidad (sensitivity):** Es la relación entre el incremento de la lectura y el incremento real de la variable que lo ocasiona. Viene dada como % del campo de medida. Si nuestro instrumento tiene una sensibilidad del  $\pm 0,05\%$ , es decir  $0,05 \times 200 / 100 = \pm 0,1^\circ\text{C}$ , es decir que una variación de la temperatura real en  $0,1^\circ\text{C}$ , provocará que la señal de salida (por ejemplo la altura del líquido del termómetro) varíe en una unidad de nuestra escala (1 mm, por ejemplo, en nuestro caso).

**Repetibilidad (repeatability):** Nos indica la capacidad que tiene el instrumento de reproducir la señal de salida para una misma entrada de la variable real, en las mismas condiciones de servicio y sentido de variación de la variable. Se mide en función de la



desviación máxima que se produce respecto del valor real de los valores medidos. Este concepto se puede ver perfectamente en la figura del ejemplo.

**Histéresis:** Será la diferencia máxima que se observa en los valores de salida para una misma entrada, recorriendo la escala en los dos sentidos ascendente y descendente. En el gráfico de nuestro instrumento se puede apreciar perfectamente el fenómeno.

**Deriva:** Representa la variación en la señal de salida que se presenta en un periodo de tiempo determinado mientras permanecen constantes la variable medida y las condiciones de trabajo. Se expresa en % del campo de medida.

**Resolución:** Es la magnitud de los cambios en escalón de la señal de salida al variar continuamente la variable de medida en todo el campo.

**Linealidad:** La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

**Reproductividad:** Indica la capacidad del instrumento de repetir el valor de una medida para una misma entrada, en condiciones idénticas dentro de un periodo de tiempo determinado.

### *Clasificación de los instrumentos*

#### *Por la función del instrumento*

- *Instrumentos ciegos.* Aquellos que no tienen indicación visible de la variable. Ej. Termostatos o presostatos, en los que sólo es posible calibrar el punto de disparo; transmisores de caudal, presión, ... sin indicación.
- *Instrumentos indicadores:* Disponen de un indicador y escala sobre la que puede leerse el valor de la variable.
- *Instrumentos registradores.* Registran gráficamente la evolución de la variable. Ej. En el cine, la llamada máquina de la verdad genera una gráfica de los estímulos eléctricos del acusado que se reflejan en un rollo de papel.
- *Elementos primarios.* En contacto con el medio, obtienen una señal que sirven al sistema como indicación para generar una medición de la variable controlada. Ej. El termómetro que introducimos en el agua para conocer su temperatura, el flotador.
- *Transmisores.* Captan la señal producida por el elemento primario y la mandan a distancia a un receptor.
- *Transductores.* Elementos que reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no en una señal de salida. Ej. un relé, un elemento primario, un convertidor presión-intensidad, etc.
- *Convertidores.* Reciben una señal vía transmisor de un instrumento y después de modificarla, envían la resultante en forma de salida normalizada. Ej. Convertidor de presión a intensidad P/I, convertidor I/P, filtro de señales.
- *Receptores.* Reciben las señales procedentes de los transmisores y las indican o registran.
- *Controladores.* Comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.
- *Elemento final de control.* Recibe la señal del controlador y modifica las acciones de control.

#### *Por la variable de proceso*

Los instrumentos se clasificarán de acuerdo con la variable de proceso medida por el sistema del que forma parte. Los instrumentos se dividirán pues en instrumentos de caudal, nivel, presión, temperatura, humedad, viscosidad, etc. Cabe decir que si tenemos

un sistema de medición de presión que da una respuesta en forma de corriente los instrumentos del mismo serán de presión.

## *Transmisores*

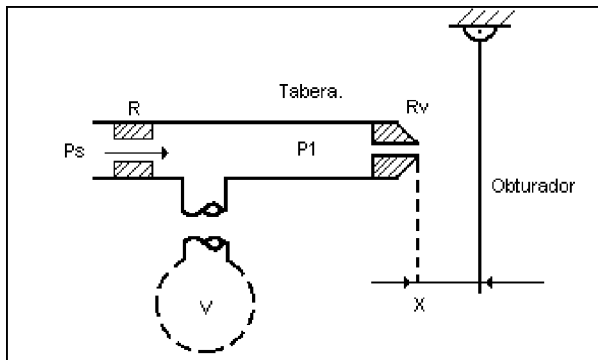
### *Generalidades*

Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o combinación de estos. Existen varios tipos de señales de transmisión: neumáticas, electrónicas, digitales, hidráulicas y telemétricas. Según el tipo de señal se clasificarán los transmisores.

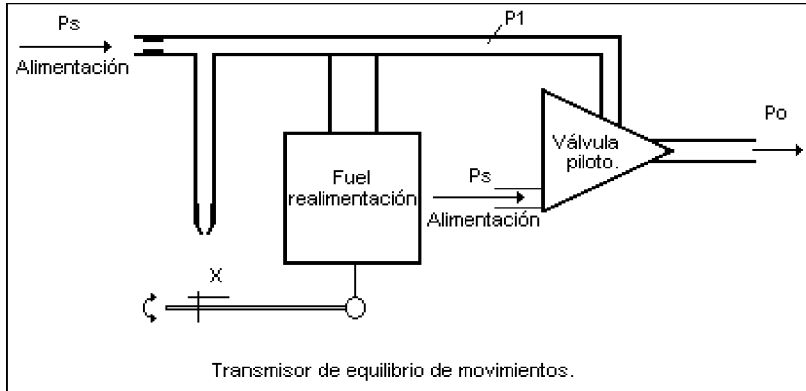
### *Transmisores neumáticos*

Los *transmisores neumáticos* generan una señal neumática variable linealmente de 3 a 15 psi para el campo de medida de 0-100% de la variable. Utilizando el sistema métrico decimal la señal que se empleará será de 0,2-1 bar, siendo prácticamente equivalente a la anterior. Así, por este procedimiento, según la presión de salida se transmitirá un valor de la variable.

Existen varias configuraciones posibles basándose todas ellas en un sistema tobera-obturador, mediante el cual se regula la presión de la señal de salida. El movimiento del obturador, dejando más sección de la tobera libre o menos, nos determina la presión de salida, así sólo queda regular el movimiento de éste en función de la señal de entrada. A continuación se presenta el dispositivo tobera obturador, además de diferentes variantes de este tipo de transmisores.

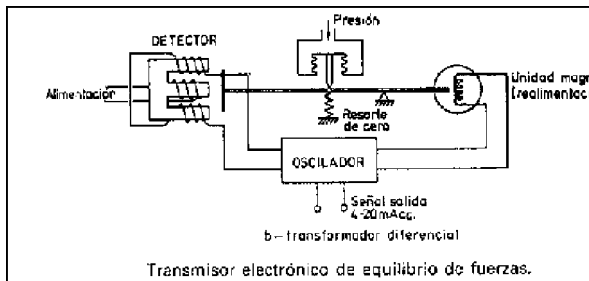
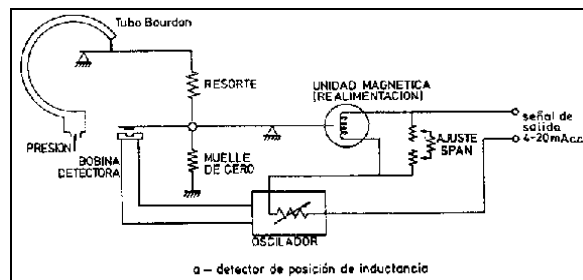
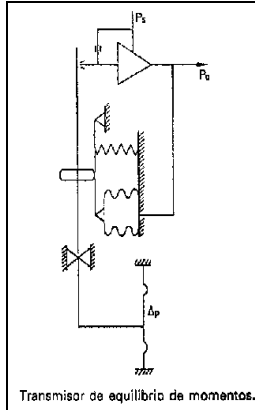


Sistema Tobera-obturador.



*Transmisores electrónicos*

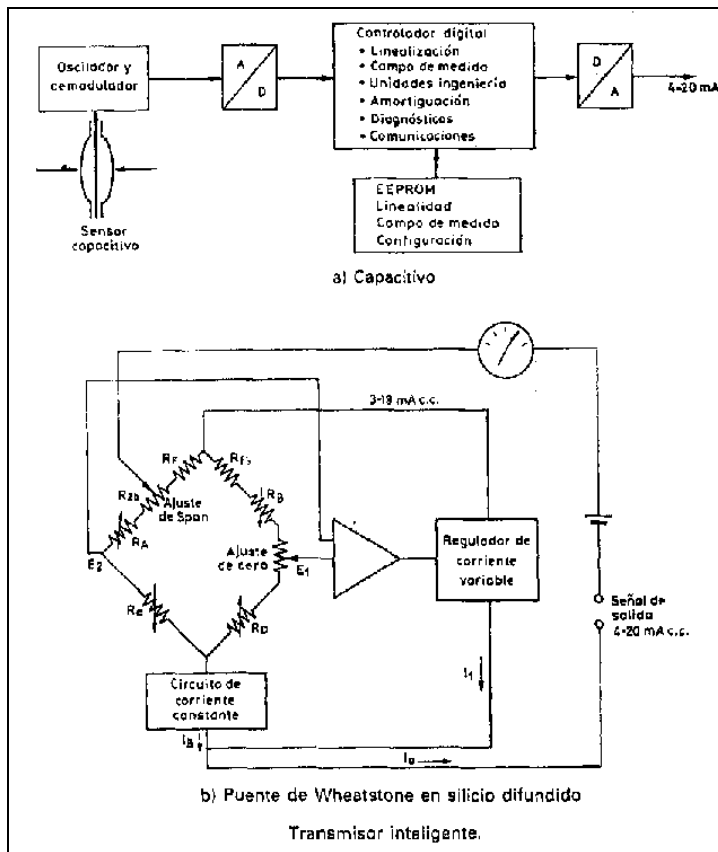
Los *transmisores electrónicos* generan una señal estándar de 4-20 mA c.c. A veces esta señal de salida es sustituida por un voltaje de 1-5V, si existen problemas de suministro electrónico. Así cualquier señal captada se podrá transmitir en forma de señal eléctrica estableciendo una relación, a ser posible lineal, entre el valor de la variable recibida y el de corriente saliente. El hecho de tener como valor asignado a la entrada nula una corriente de 4 mA se debe a la posibilidad de detectar de este modo cortes de línea.



*Transmisores digitales*

Los *transmisores digitales* emite una señal digital, que consiste en una serie de impulsos (señal de muy pequeña duración) en forma de bits. Cada bit consistirá en dos signos, el 0 y el 1, que corresponden al paso o no de corriente. Así según el número de bits que tengamos podremos codificar diferente número de niveles, mayor a más bits. Así al tener un mayor número de niveles de señal de salida mejor será la resolución al poder representar niveles de la de entrada más próximos, suponiendo una relación lineal entre ambas variables en todo el campo de medida. La principal ventaja de este tipo de transmisor es que su señal de salida puede ser recibida directamente por un procesador.

La gran innovación de este tipo de transmisor fue la posibilidad de introducir en él funciones adicionales, a la propia de medida de la variable.

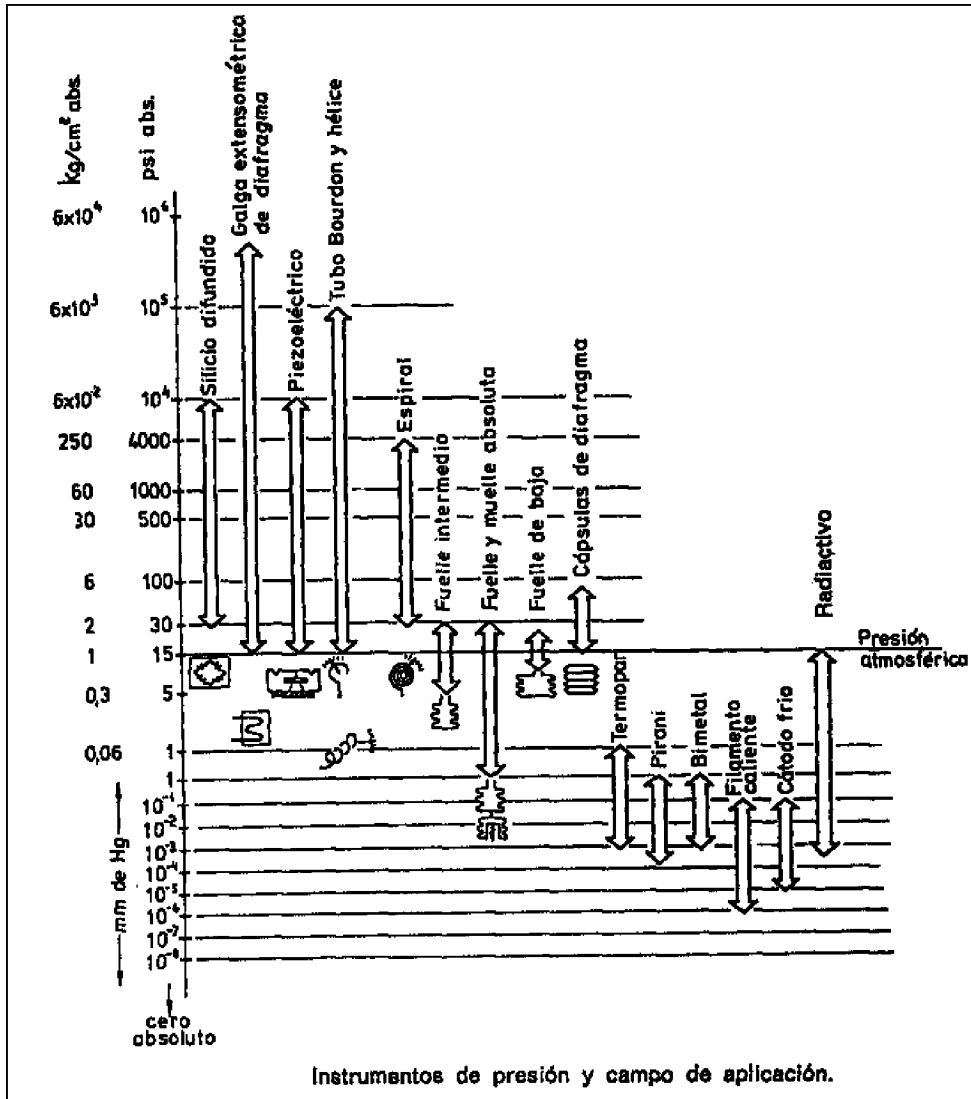




*Instrumentos de medida de presión*

Los instrumentos de presión se clasifican en tres grupos: mecánicos, neumáticos, electromecánicos y electrónicos.

A continuación presentamos los diferentes instrumentos de presión y su campo de aplicación.



### *Elementos mecánicos*

Se dividen a su vez en:

- Elementos primarios de medida directa que miden la presión comparándola con la ejercida por un líquido de densidad y altura conocidas. Ejemplos de los elementos primarios más empleados son el barómetro de cubeta, manómetro de tubo en U, manómetro de tubo inclinado.
- Elementos primarios elásticos que se deforman por la presión interna del fluido que contienen en su interior. Los elementos primarios elásticos más empleados son: El tubo Bourdon, el elemento en espiral, el helicoidal, el diafragma y el fuelle.

### *Elementos neumáticos*

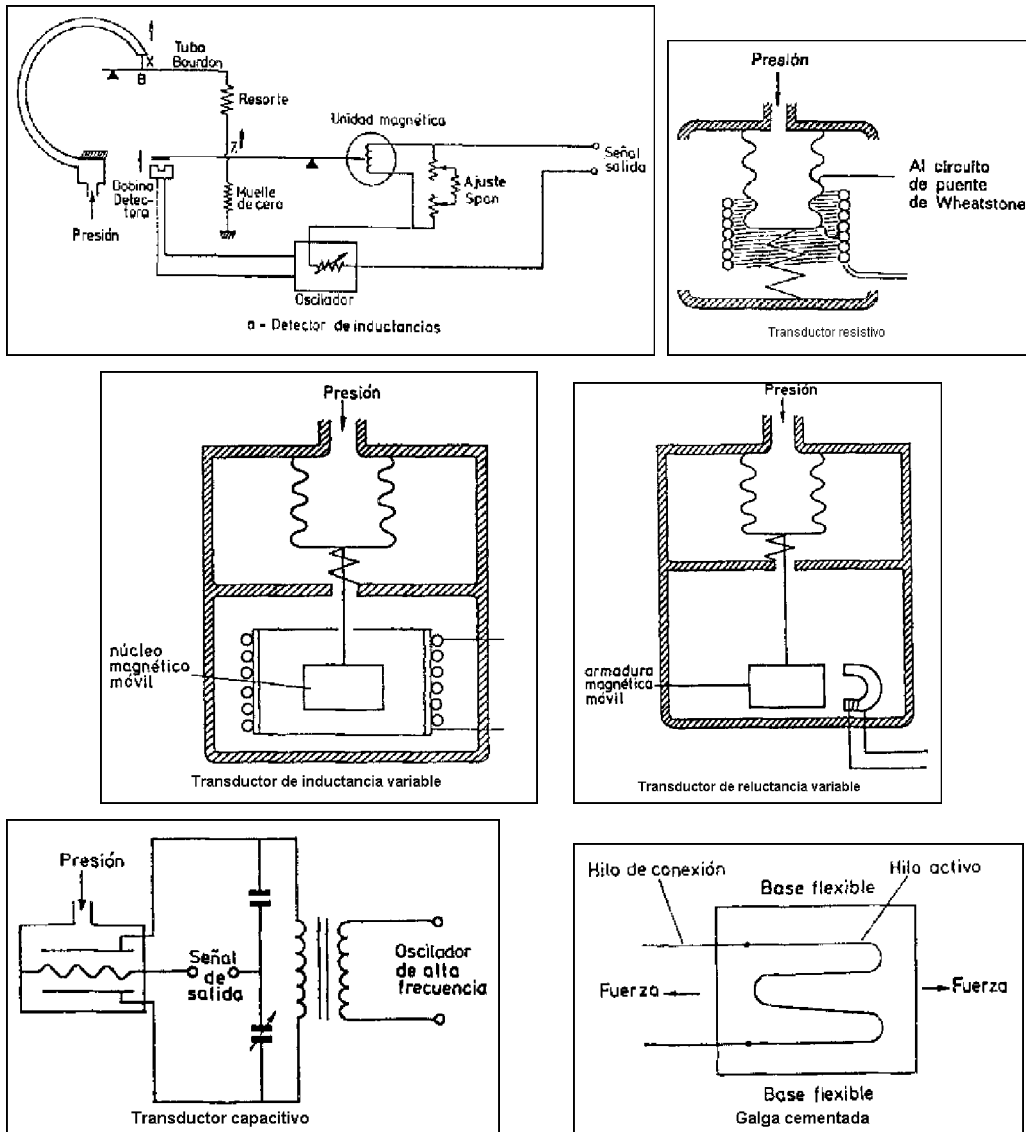
Los elementos como transmisores neumáticos se utilizan también como medidores de presión neumáticos. Por lo que nos referimos a lo ya visto en un apartado anterior.

### *Elementos electromecánicos*

Su funcionamiento se basa en la utilización de un elemento mecánico elástico combinado con un transductor eléctrico que genera la señal eléctrica correspondiente. El elemento mecánico variará según diseño, pudiendo ser un tubo Bourbon, espiral, hélice, etc. que a través de un sistema de palancas convierte la presión en una fuerza o en un desplazamiento mecánico. Esta señal será convertida por transductor en eléctrica.

Existen diversos tipos de diseños siguiendo todos ellos el esquema básico de funcionamiento descrito, variando de unos a otros el funcionamiento y tipo del transductor. Según esto podremos distinguir los siguientes tipos:

- Transmisores electrónicos de equilibrio de fuerzas.
- Resistivos.
- Magnéticos.
- Capacitivos.
- De galgas extensiométricas.
- Piezoeléctricos.



*Instrumentos de medida de caudal*

En la mayoría de los procesos involucrados en una planta industrial es muy importante la medida del caudal. Variarán los instrumentos según si desea medir caudal volumétrico o el másico.

	Sistema	Elemento	Transmisor		
Medidores volumetricos	Presión diferencial	Placa-orificio Tobera	conectados a tubo U o a elemento de fuelle o de diafragma	Equilibrio de fuerzas	
		Tubo Venturi Tubo Pitot Tuvo Annubar		Silicio difundido	
	Area variable	Rotámetro		Equilibrio de movimientos Potenciométrico Puente de impedancias	
	Velocidad	Vertedero con flotador en canales abiertos Turbina Sonda ultrasónicas		Potenciométricos Piezoeléctrico	
	Fuerza	Placa de impacto		Equilibrio de fuerzas Galgas extensiométricas	
	Tensión inducida	Medidor magnético		Convertidor potenciométrico	
	Desplazamiento positivo	Medidor rotativo	Disco giratorio Pistón oscilante Pistón alternativo	Cicloidal Birrotor Oval	Generador tacómetro o transductor de impulso
			"		"
			"		"
	I orbellino	Medidor de frecuencia de termistancia, o condensador o ultrasonidos	Medidor paredes deformables		I ransductor de resistencia
"					
Oscilantes	Válvula oscilante			Transductores de impulsos	
Medidores de caudal de masa	Compensación de presión y temperatura en medidores volumétricos				
	Térmico	Diferencia temperaturas en dos sondas de resistencia		Puente de Wheatstone	
	Momento	Medidor axial		Convertidor de par	
		Medidor axial de doble turbina		"	
	Fuerzas de Coriolis	Tubo en vibración		Equilibrio dde fuerzas	
Presión diferencial	Puente hidráulico		Equilibrio de fuerzas		

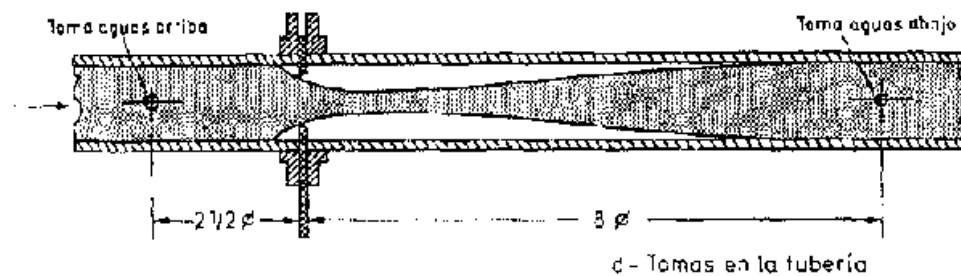
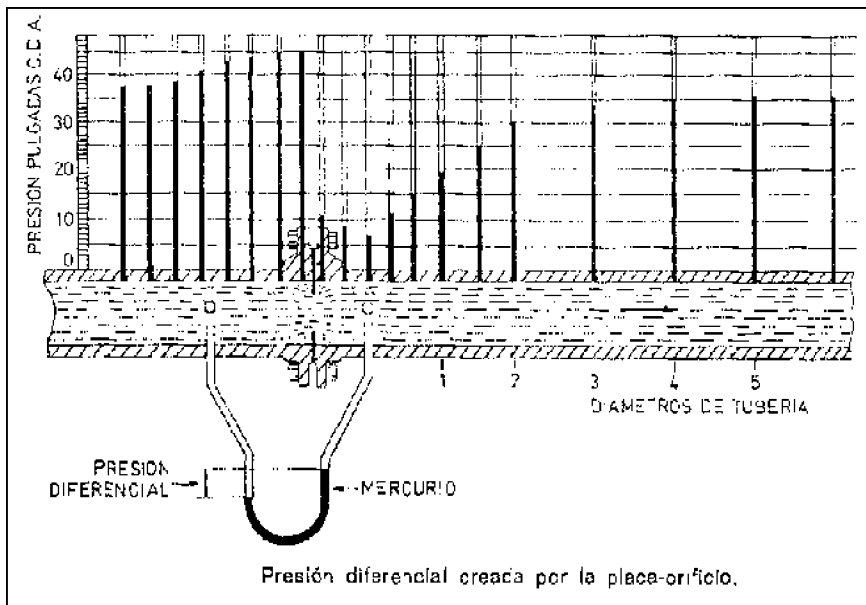
*Medidores volumétricos*

*Instrumentos de presión diferencial*

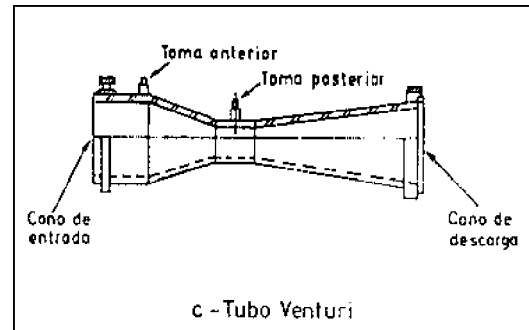
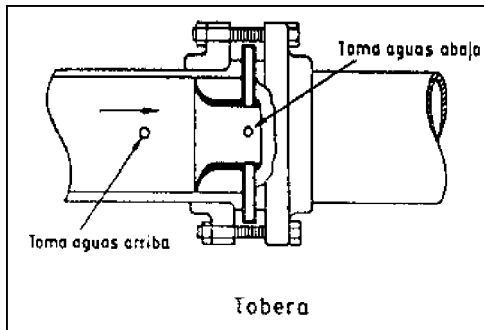
En este tipo de instrumento es posible deducir el caudal que circula por el mismo a partir de la lectura de la presión diferencial entre dos puntos del sistema con diferente sección de tubería, es decir en los que existe diferente velocidad del fluido al ser el caudal constante. Para ello, se recurre a la aplicación directa del teorema de Bernoulli que se vio en el capítulo segundo.

A continuación se pasa a presentar los distintos esquemas constructivos de algunos de los instrumentos, variando en ellos únicamente el modo de obtener la diferencia de velocidades en la tubería necesaria para que aparezca la diferencia de presiones en la que se basa la medición.

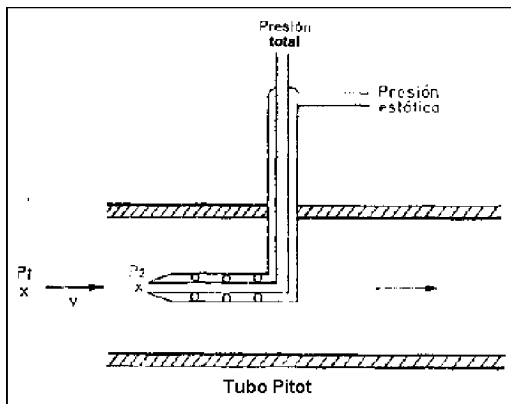
- Placa-orificio o diafragma. Se dispone una placa perforada en el seno de la tubería como forma de obtener la diferencia de presiones de medida necesaria.



- Tobera. Con este elemento conseguimos reducir la sección de paso, con lo que reducirá la presión del fluido en él.
- Tubo Venturi. Su esquema constructivo obedece a la siguiente figura.



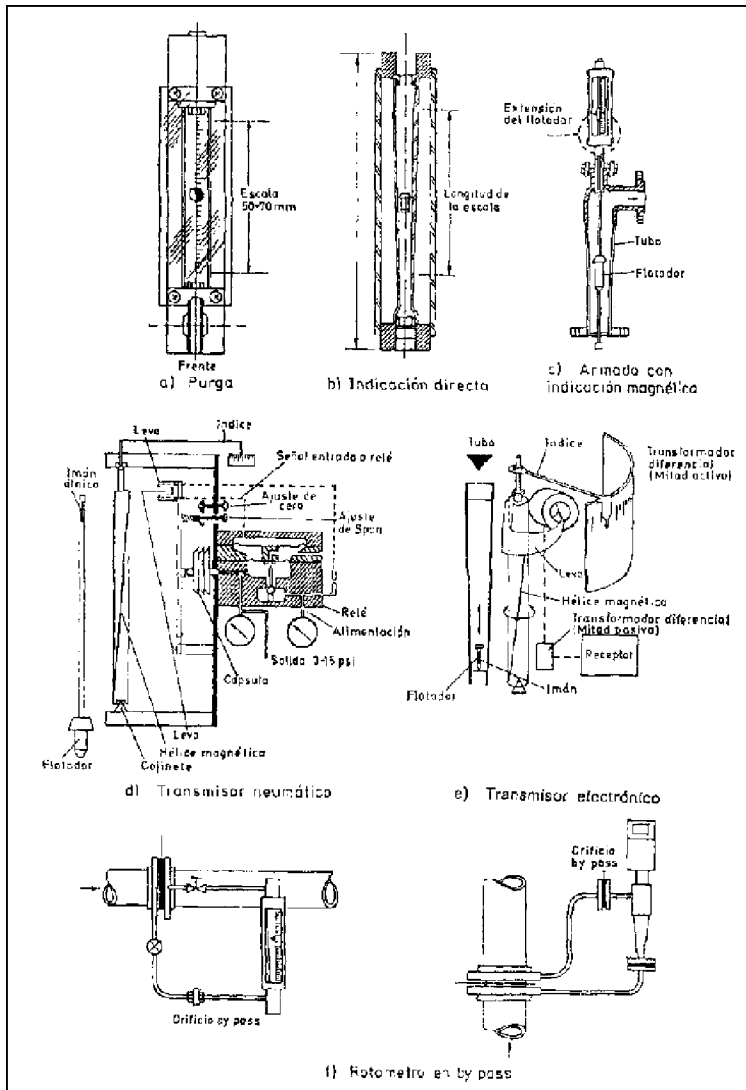
- Tubo Pitot. Este dispositivo mide directamente la diferencia entre la presión total y la presión estática, o sea la presión dinámica del fluido, a partir de la que se puede deducir el caudal.



### *Instrumentos de área variable (rotámetros)*

Los rotámetros son medidores de caudal de área variable en los cuales un flotador cambia su posición dentro de un tubo, proporcionalmente al flujo del fluido. Así partiendo de una calibración previa del dispositivo, conociendo la posición del flotador podremos deducir el caudal de paso.

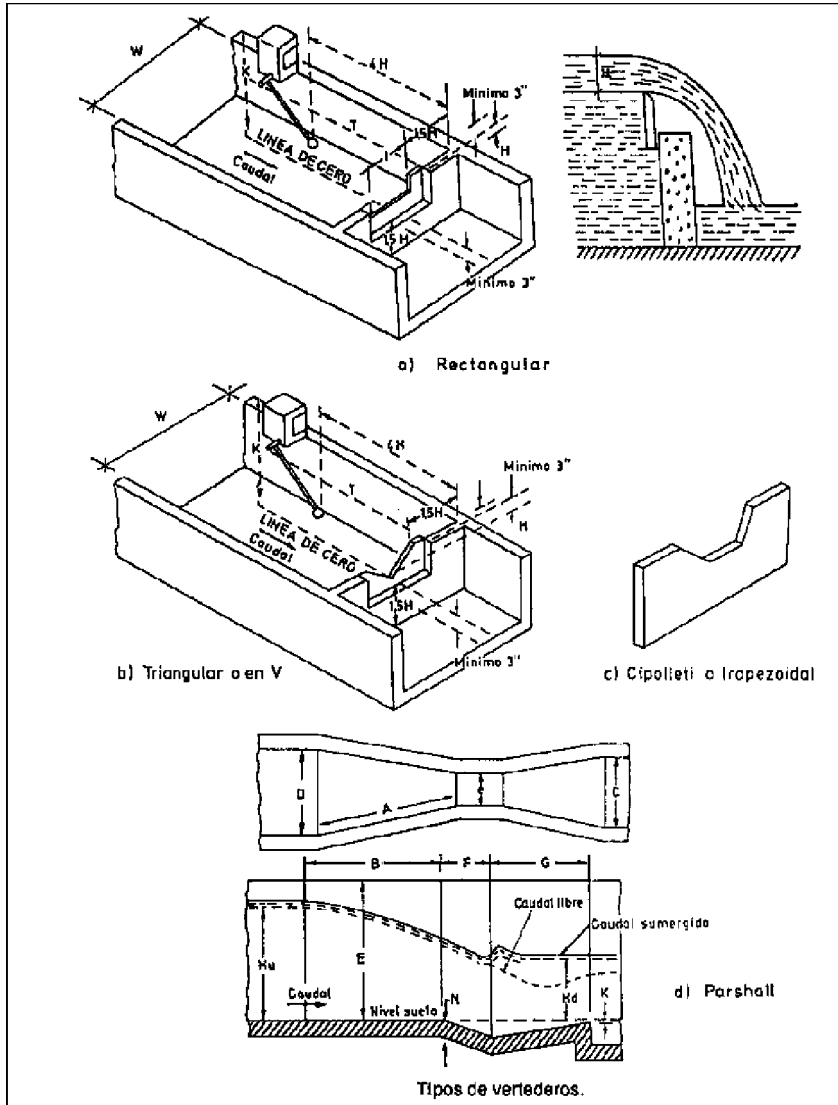
Existen diversas configuraciones de este tipo de elemento como podemos ver en la siguiente figura.



*Instrumentos basados en la medida de la velocidad*

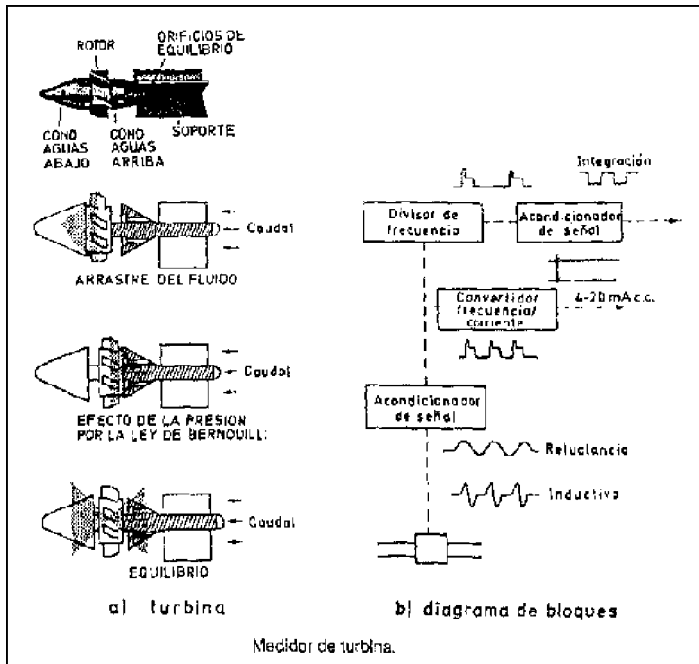
- *Vertederos.* Se utilizan en la medición del caudal en canales abiertos. Se utiliza la diferencia de alturas de líquidos en el canal entre la zona anterior al vertedero y el punto más bajo en éste, para deducir el caudal que circula por el canal. Consisten básicamente en un tabique colocado perpendicularmente a la corriente de fluido, en el cual se ha practicado un rebaje. A medida que aumenta el flujo de fluido tendremos que el nivel en el vertedero aumenta, reduciéndose así la diferencia de altura entre aguas arriba del instrumento de medida y la registrada en él.

A continuación se presenta el esquema de este elemento además de diversas configuraciones.

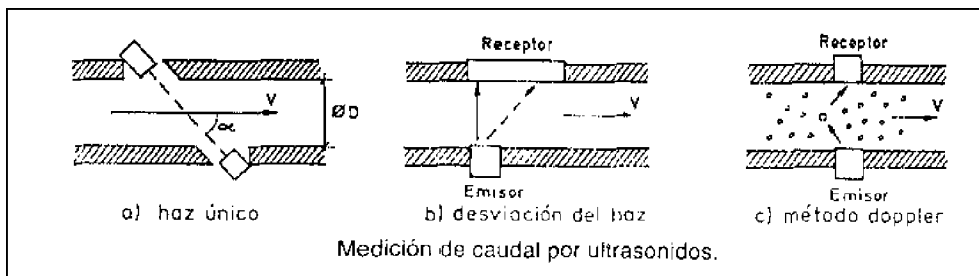


- *Turbinas.* Consisten en un rotor que gira al paso del fluido con una velocidad directamente proporcional al caudal. A continuación presentamos algunos ejemplos de estos elementos.



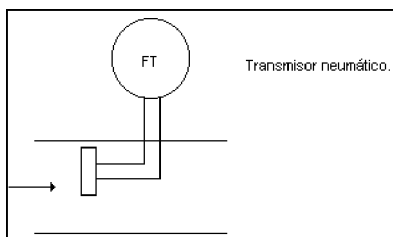


- *Transductores ultrasónicos.* Los transductores del ultrasonidos miden el caudal por diferencia de velocidades del sonido al propagarse éste en el sentido del flujo y en el sentido contrario. Existen diversas disposiciones de distribuir los sensores.



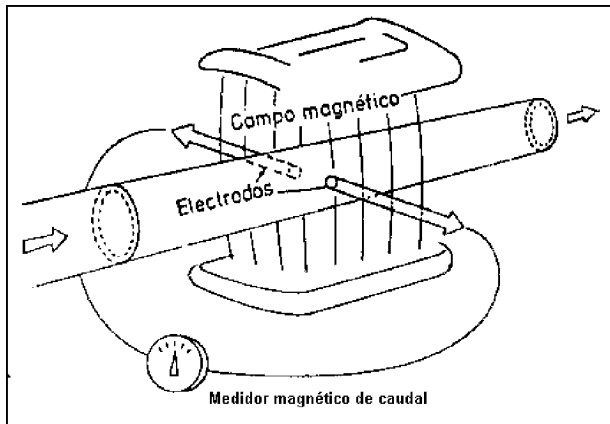
### *Instrumentos basados en la medida de fuerza (medidor de placa)*

El *medidor de placa* consiste en una placa instalada directamente en el centro de la tubería y sometida al empuje del fluido. La fuerza originada es proporcional al caudal del fluido, por lo que de ella se deduce.



*Instrumentos de tensión inducida (medidor magnético)*

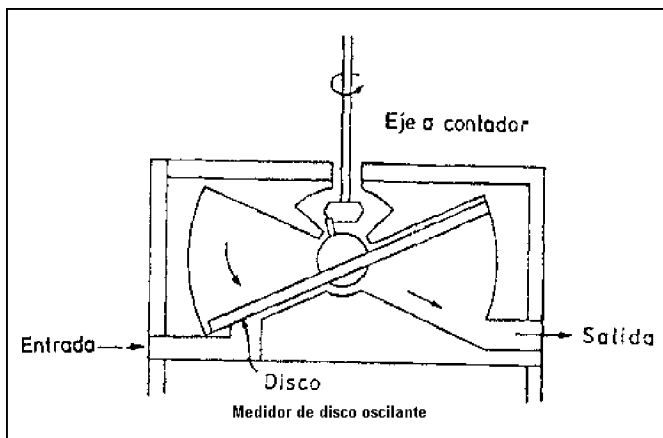
Se basa en la aplicación de la ley de Faraday, por la cual la tensión inducida a través de cualquier conductor, en nuestro caso el fluido, al moverse perpendicularmente a través de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor. Así midiendo la tensión generada en el líquido deducimos el caudal de paso.

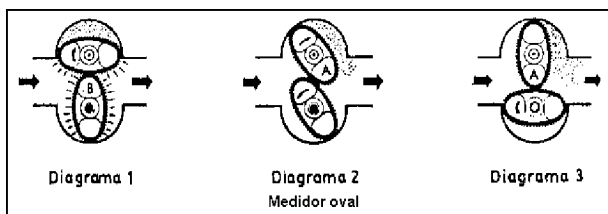
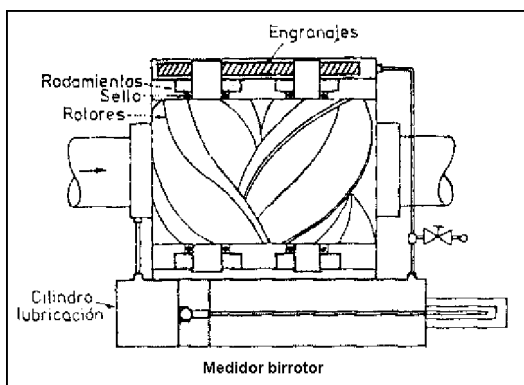
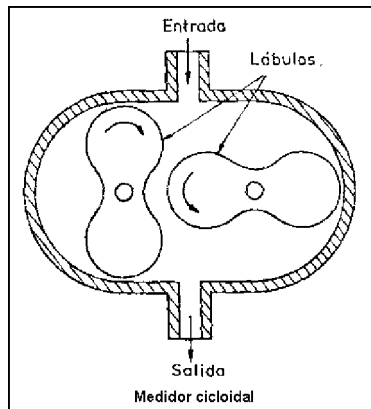
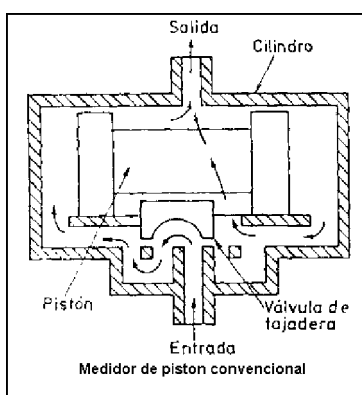
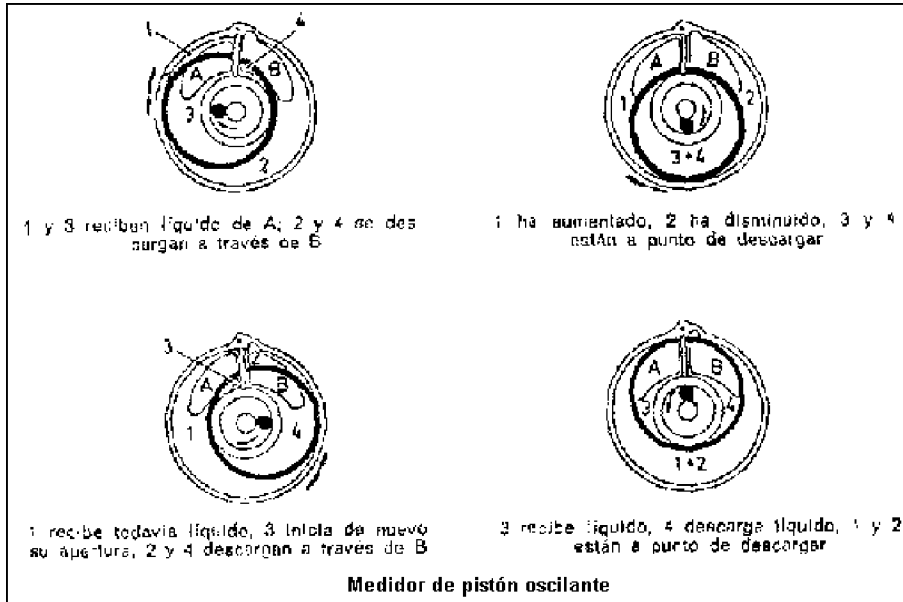


*Instrumentos de movimiento positivo.*

Los medidores de desplazamiento positivo miden el caudal en volumen contando volúmenes separados del líquido. Se basarán en el hecho de que existen una serie de partes cuyo movimiento se produce proporcionalmente al paso de una cierta cantidad predeterminada de fluido por el instrumento. Así registrando la frecuencia de movimiento determinaremos el caudal de paso.

Existen cuatro tipos básicos de disposiciones como se muestran en la figura siguiente:





*Medidores de caudal masa*

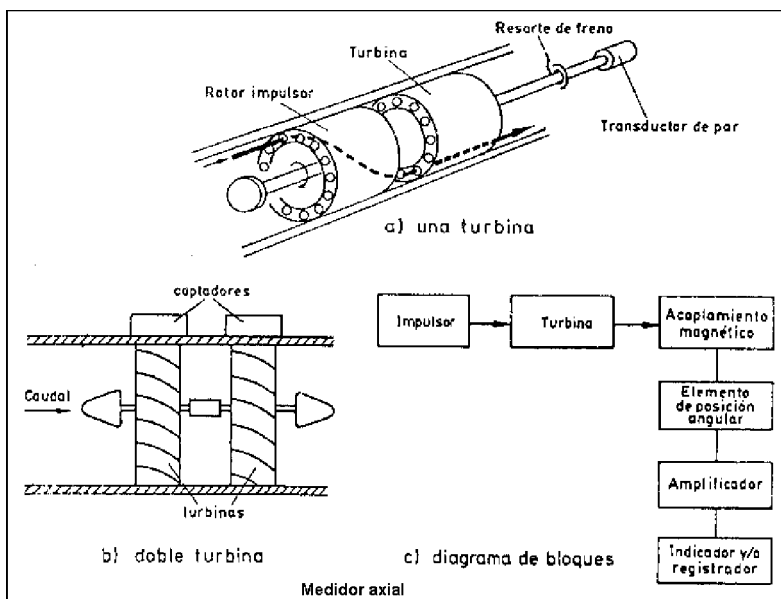
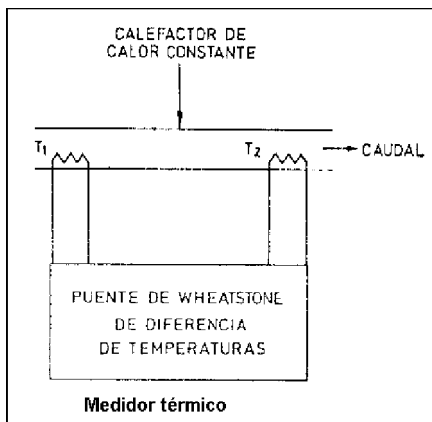
La determinación del caudal masa puede efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido, o bien determinar directamente el caudal masa aprovechando características medibles de la masa del fluido.

En el primero de los casos se compensarán las variaciones de densidad del fluido, a partir de la lectura obtenida de un transmisor de densidad.

*Instrumentos de medición directa del caudal-masa*

Existen tres sistemas básicos, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de Coriolis.

Estos sistemas basarán su funcionamiento en transmitir a la masa de fluido una cierta cantidad conocida de energía ( calorífica o mecánica), estudiando la evolución de alguna características del mismo como pudieran ser su temperatura, velocidad, momento angular.

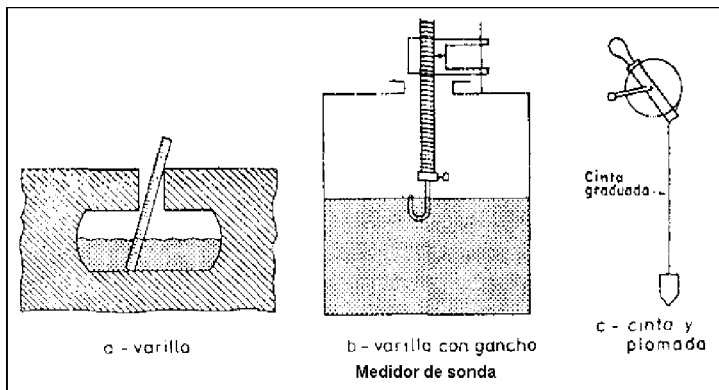


*Medición de nivel*

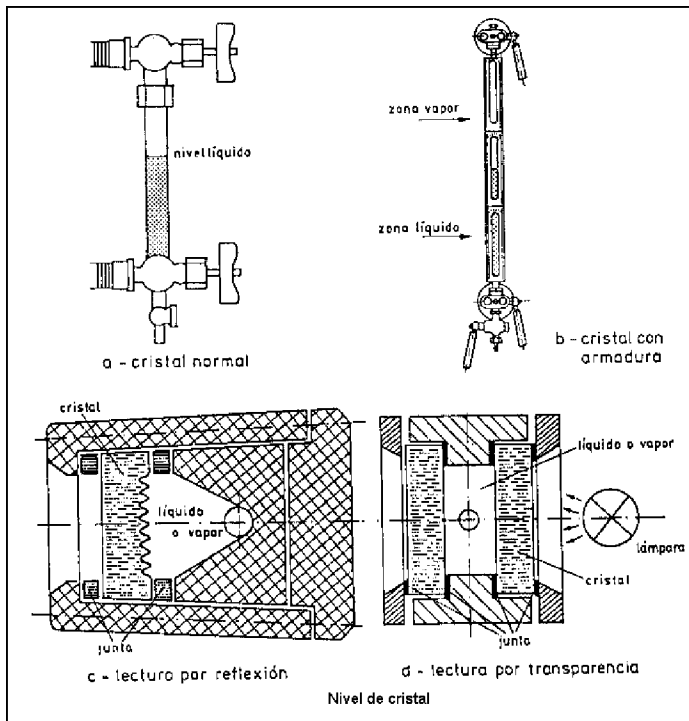
Los medidores de nivel de líquidos se basarán en la medida bien directamente de la altura de líquido, bien la presión hidrostática, bien el desplazamiento de un flotador que descansa en el líquido, o bien a partir de características eléctricas del líquido.

*Instrumentos de medida directa*

El *medidor de sonda* efectúa la medida por lectura directa de la longitud mojada por el líquido.

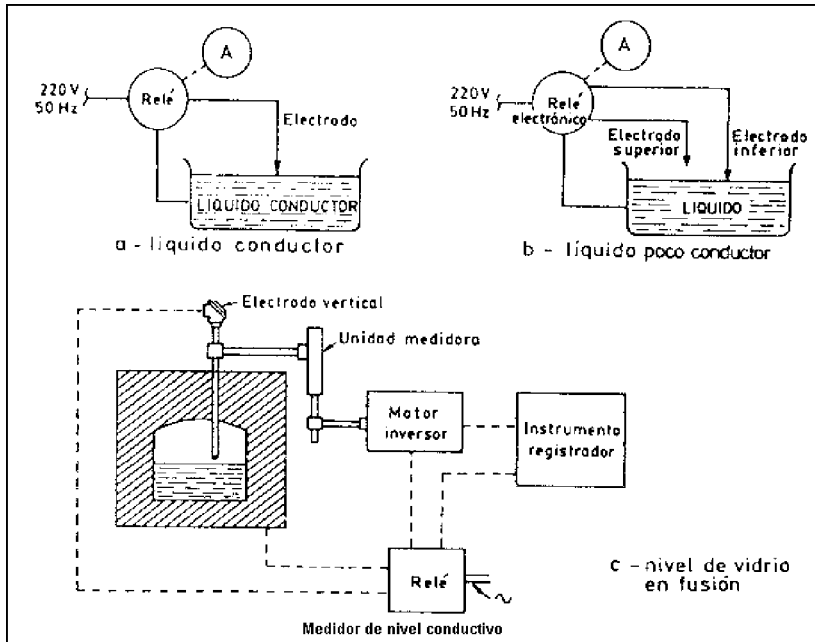


El *nivel de cristal* basa la medida de nivel en la altura de la columna de líquido en un tubo de cristal.

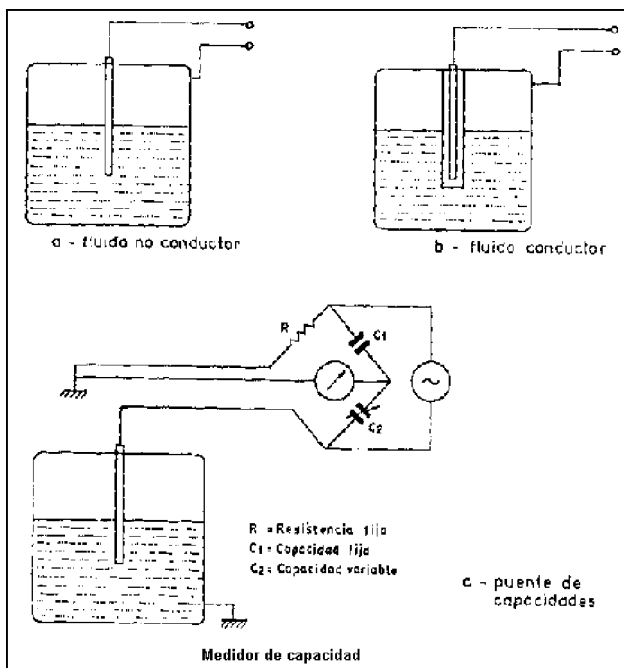


*Instrumentos basados en características eléctricas del líquido*

El *medidor de nivel conductivo o resistivo* consiste en uno o varios electrodos que se cortocircuitarán al ser mojados por el líquido.



El *medidor de capacidad* mide la capacidad del condensador formado por el electrodo sumergido en el líquido y las paredes del tanque. La capacidad del conjunto dependerá del nivel de líquido.



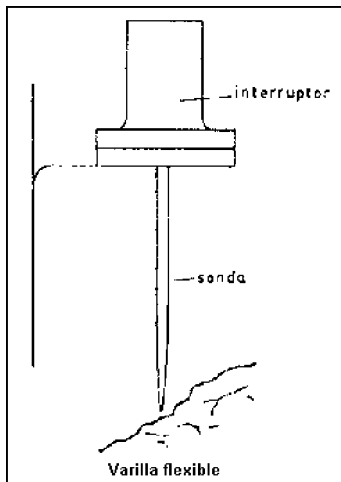
El *sistema ultrasónico de medición de nivel* se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

### *Medidores de nivel de sólidos*

#### *Detectores de nivel de punto fijo.*

En ellos sólo se considerará el nivel en un punto determinado y constante del tanque.

*Varilla flexible.* Consiste en una varilla de acero que al hacer contacto con los sólidos actúa sobre un interruptor, emitiendo una señal de salida.

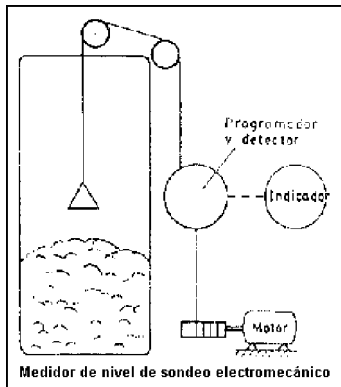


*Medidor conductivo.* Se basa en la disposición de unos electrodos que se cortocircuitan cuando son alcanzados por los sólidos.

#### *Detectores de nivel continuos*

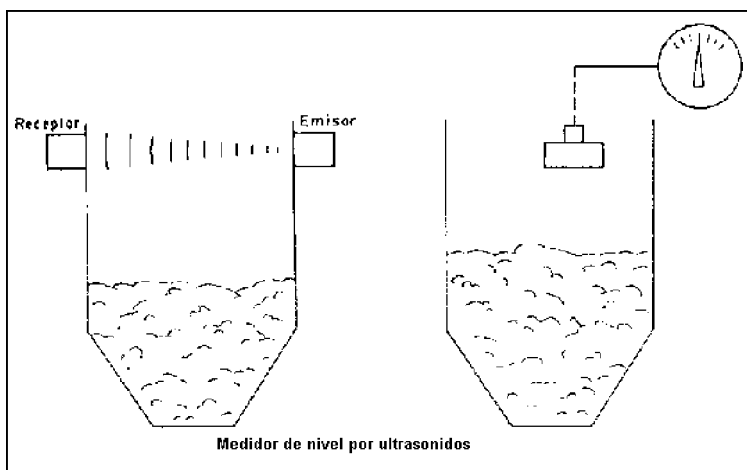
Basaran su medición en lecturas realizadas en cualquier punto del tanque.

El *medidor de nivel de sondeo electromecánico* basa su medida en la longitud necesaria hasta que un peso de tensión alcance la superficie de los sólido. La pesa desciende en puntos aleatorios movidos por un motor.



El *medidor de presión diferencial* se empleará en la medida y el control de lechos fluidizados. Su funcionamiento es idéntico al utilizado para líquidos.

El *medidor de nivel de ultrasonidos* tendrá la misma configuración que el usado en líquidos.



### *Instrumentos de medida de temperatura*

La medida de la temperatura constituye una de las mediciones más importantes y más frecuentes que se llevan a cabo en los procesos de una industria. De este parámetro dependerá tanto la buena marcha como la economía de toda operación.

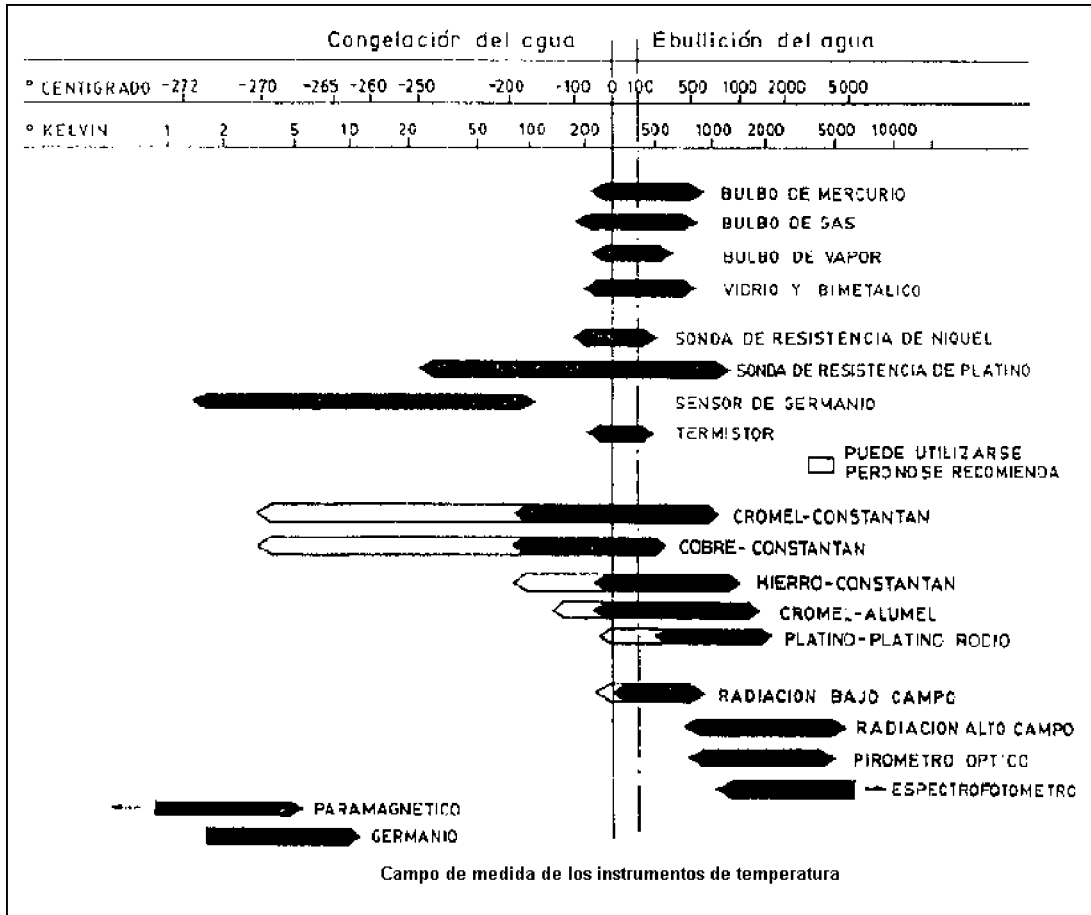
Los instrumentos de medida de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases);
- variación de resistencia de un conductor (sondas de resistencia);
- variación de resistencia de un semiconductor (termistores);
- fuerza electromotriz creada en la unión de dos metales distintos (termopares);



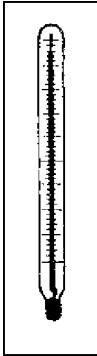
- intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación);
- otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal...)

A continuación pasamos a presentar los diferentes instrumentos de temperatura con sus intervalos de medida



### Termómetro de vidrio

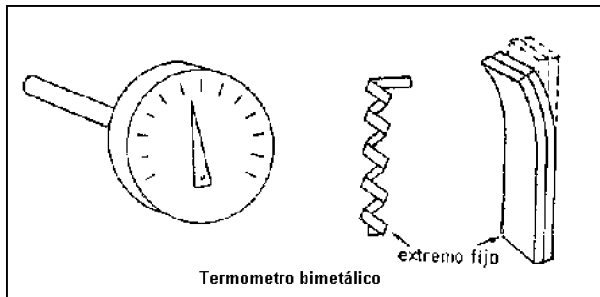
Quizá sea uno de los instrumentos de medida más conocido habitualmente. Se basa en la expansión por calentamiento de un líquido ubicado en un depósito de vidrio. Al calentarse se expande subiendo por el capilar, siendo la altura conseguida la señal de salida del sistema.



Termómetro de vidrio

### *Termómetro bimetalico*

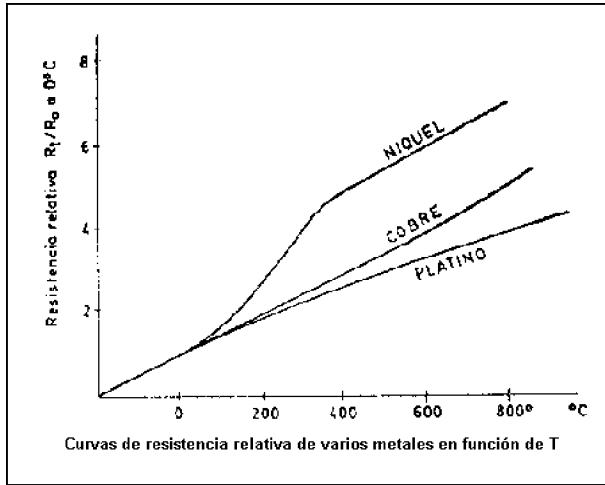
Los termómetros bimetalicos se fundamentan en el diferente coeficiente de dilatación de dos metales diferentes, tales como latón, acero y una aleación de ferroniquel o Invar laminados conjuntamente. Un cambio en la temperatura del conjunto laminado provocará la curvatura del mismo, aprovechándose dicho fenómeno para mover una aguja indicadora que nos da la señal de salida.



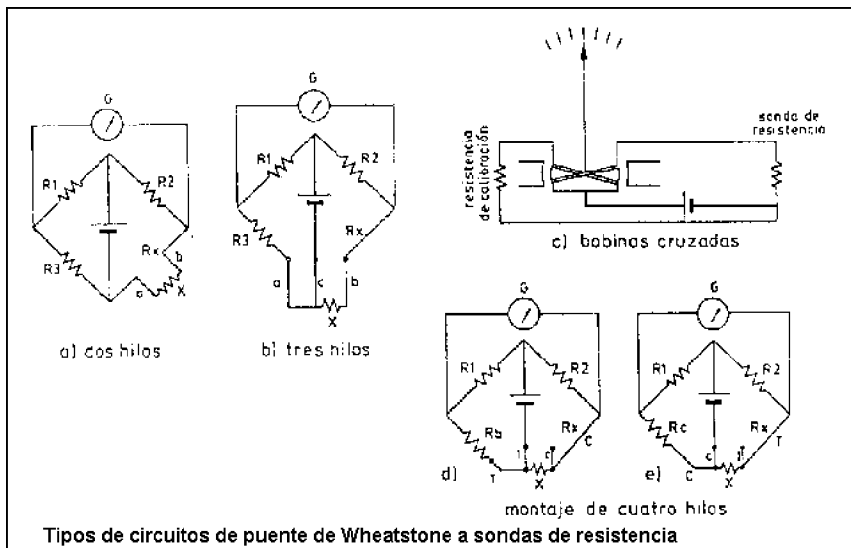
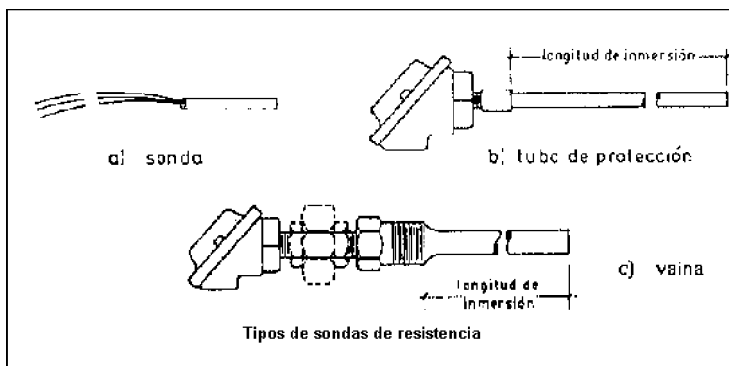
### *Termómetros de resistencia*

Este sistema se basa en la variación de resistencia que sufre un conductor según varía la temperatura del mismo. Esta variación será diferente de un material a otro.

Nos interesará utilizar materiales con una alta variación de su resistencia con la temperatura, ganando así en sensibilidad del instrumento. Se busca además una relación lineal entre temperatura y resistencia. Los materiales usados habitualmente serán platino y níquel.

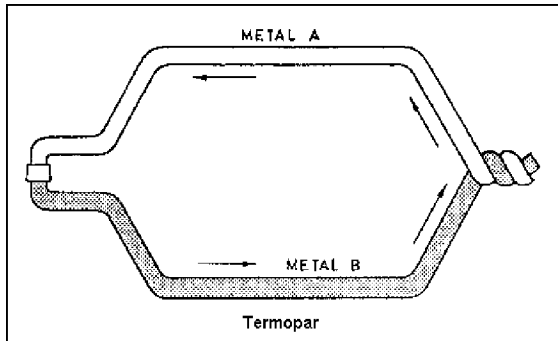


Existen diversos diseños de construcción del equipo como pueden ser las siguientes:

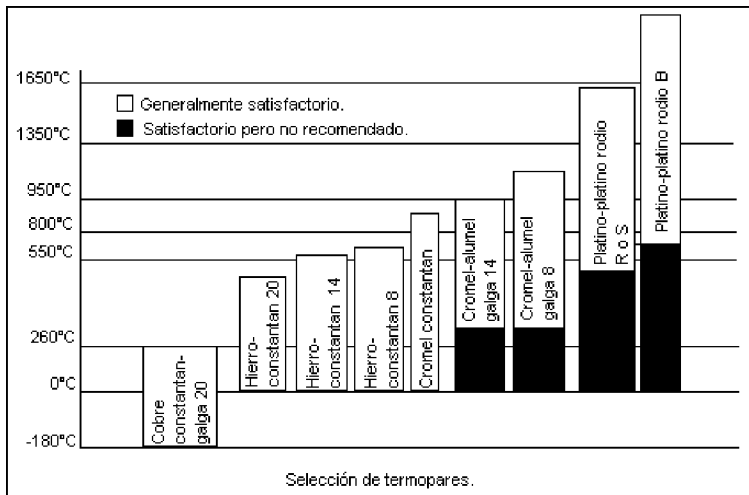


*Termopares*

El *termopar* se basa en el hecho de que aparece una corriente en un circuito formado por dos metales diferentes cuyas uniones ( unión de medida o caliente y unión de referencia o fría) se mantienen a distinta temperatura. Esto es debido a que aparece una pequeña tensión entre uniones, proporcional a la temperatura de la unión de medida, siempre que haya una diferencia de temperatura con la unión de referencia.



Según la combinación de materiales elegida para los alambres se creará un nivel de tensión para una temperatura dada de la unión de medida, dicho valor de la f.e.m. (fuerza electromotriz o tensión) se tomará como señal de salida. Así será posible establecer una relación temperatura-f.e.m.



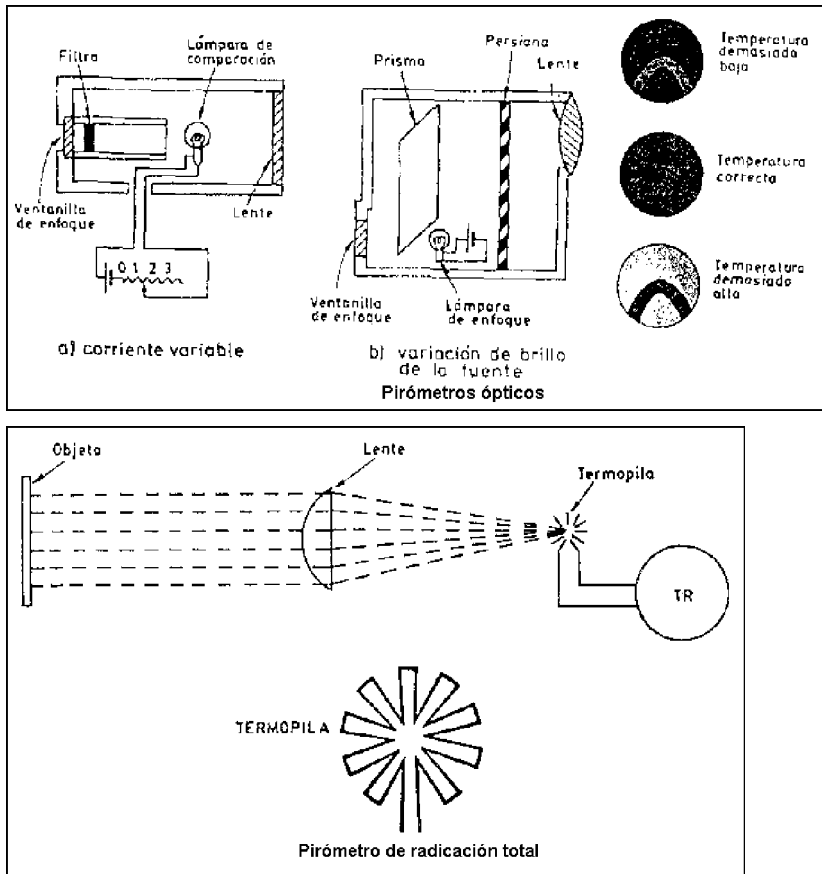
*Pirómetros de radiación*

Los pirómetros de radiación se fundamentan en el hecho de que un cuerpo a temperatura emite una energía radiante de intensidad proporcional a la cuarta potencia de la temperatura del cuerpo. Partiendo de este hecho, un pirómetro de radiación mide la

temperatura de un cuerpo a distancia en función de su radiación. y los que, se llaman **pirómetros de radiación total**.

Los pirómetros pueden corresponder a dos configuraciones básicas que son las siguientes:

- **Pirómetros ópticos.** Miden la temperatura de un cuerpo en función de la radiación luminosa que éste emite.
- **Pirómetros de radiación total.** Miden la temperatura captando toda o una gran parte de la radiación emitida por el cuerpo.



*Instrumentos para la medida del peso*

Existen varios métodos para medir el peso:

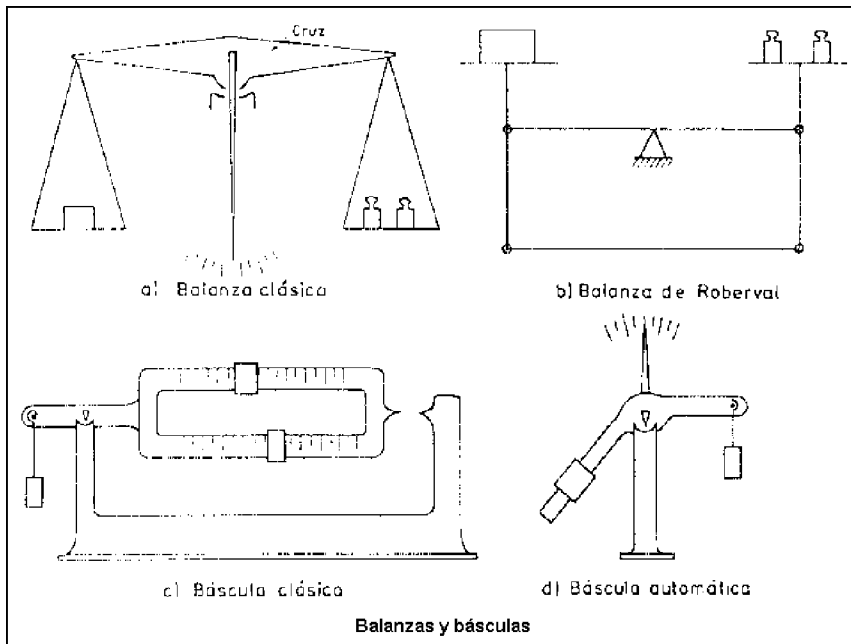
- Comparación con otros pesos patrones (balanzas y básculas);
- Células de carga a base de galgas extensométricas;
- Células de carga hidráulicas;
- Células de carga neumáticas.

*Comparación con otros pesos patrones*

La comparación con otros pesos patrones la realizan las *balanzas* y las *básculas*.

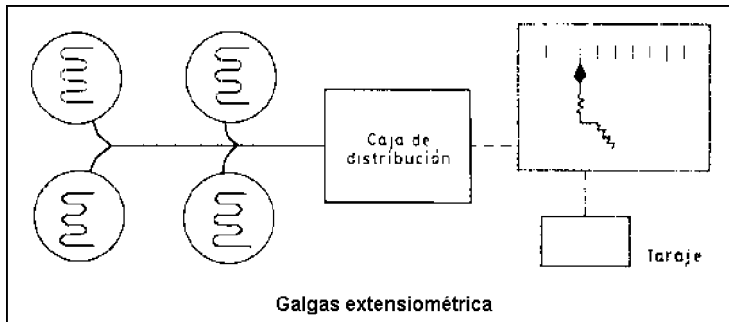
La *balanza clásica* está constituida por una palanca de brazos iguales llamada cruz que se apoya en su centro y de cuyos extremos cuelgan los platillos, que soportan los pesos. En uno de los platos se colocará la masa a determinar, mientras que en el otro se irán depositando las masas patrón hasta conseguir el equilibrio.

La *báscula clásica* consiste en una palanca donde en uno de sus extremos se coloca el peso a medir, mientras que en el otro hay una estructura en la cual se encuentran los pesos de referencia. Estos últimos se colocaran a distancia variable del punto de apoyo de la palanca hasta conseguir el equilibrio del conjunto.



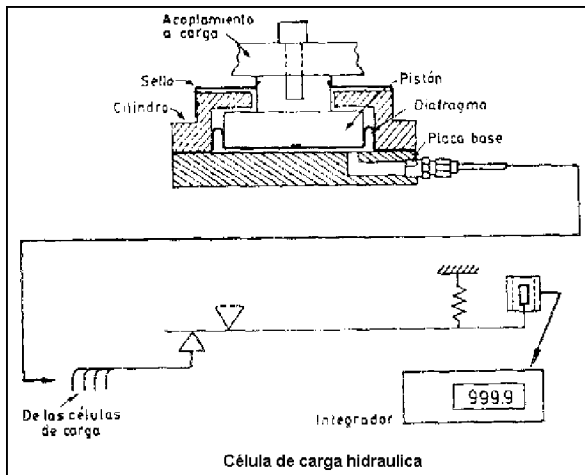
*Célula de carga de galgas extensiométricas*

Consiste en una célula con una pieza de elasticidad conocida a la que se encuentra unida una galga extensiométrica. La tensión creada por el peso provocará la deformación del resorte, variando la longitud de la galga y con ello su resistencia. De esta manera podremos cuantificar el empuje sufrido, y con ello el valor del peso.



*Célula de carga hidráulica*

En las células hidráulicas encontramos un pistón sobre el que se apoya la carga, el cual ejercerá una presión sobre un fluido hidráulico. De la medida de la presión generada se podrá conocer el valor del peso a medir.

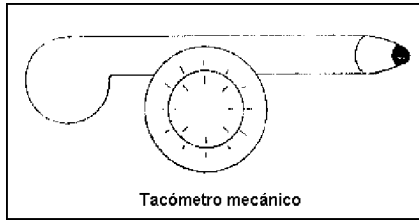


*Instrumentos de medida velocidad*

La medición de la velocidad de los equipos rotativos de la planta es de gran importancia en el control de su nivel de carga. Para efectuar dicho control se puede recurrir a sistemas bien mecánicos, o bien eléctricos.

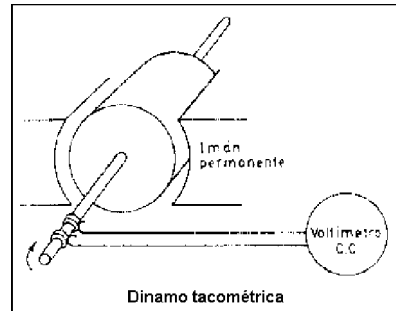
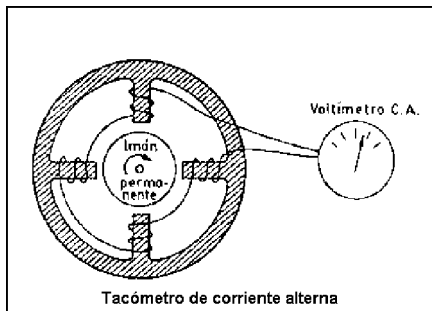
*Tacómetro mecánicos*

Consiste en un eje elástico que apoyado sobre eje del equipo transmite el movimiento giratorio a un tren de engranajes que actúan sobre un indicador exterior. La posición de este indicador constituirá la señal de salida.



*Tacómetros eléctricos*

Basan su funcionamiento en las características de la señal producida por generadores eléctricos rotativos, movidos por el movimiento de la máquina, cuya velocidad se desea conocer. Existen diversos tipos de diseño en función de la señal eléctrica generada.

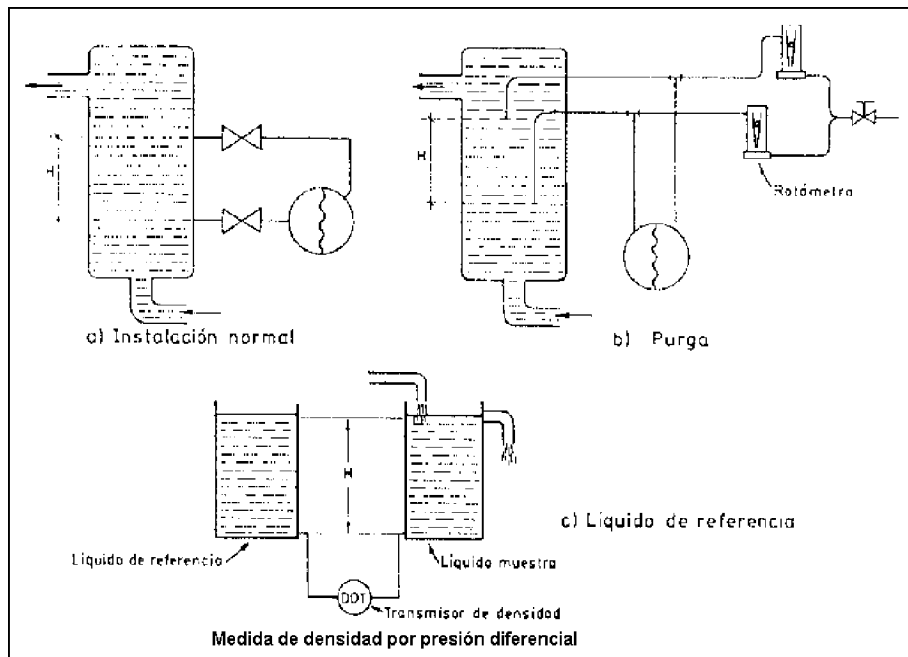
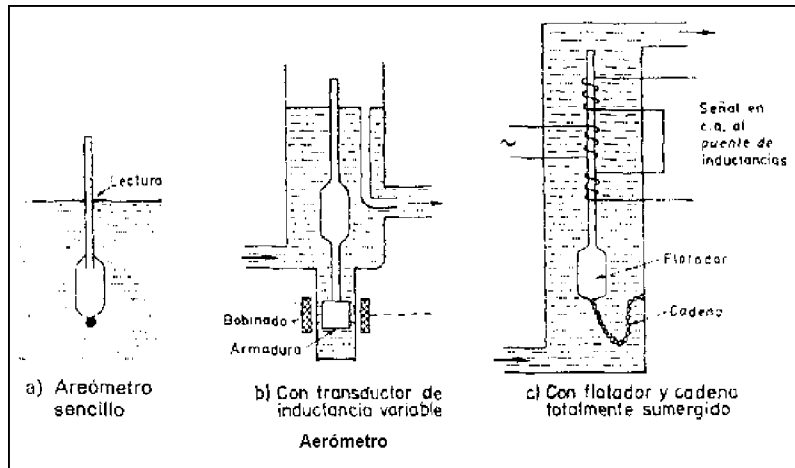


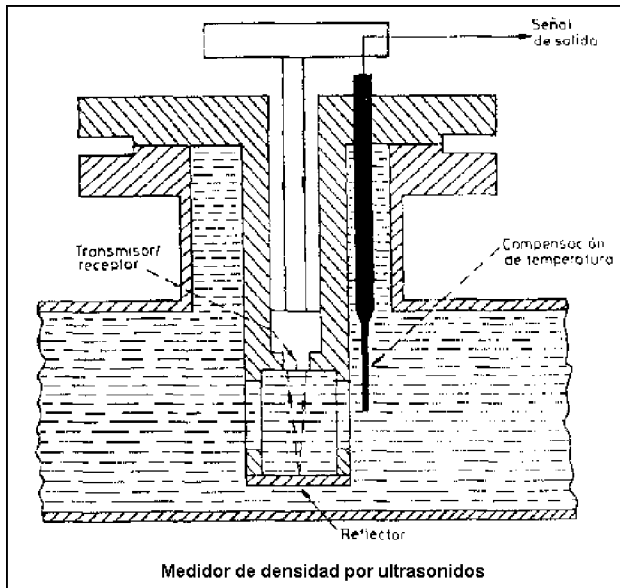
*Instrumentos de medida de la densidad*

Los instrumentos utilizados para determinar la densidad basan su funcionamiento en diversos principios. Estos principalmente serán:

- Empuje experimentado por un cuerpo sumergido en un fluido.
- Presión debida a una columna de líquido de altura conocida.
- Velocidad del sonido en el fluido
- Cambio de punto de ebullición del fluido al ser disuelto con agua, etc.







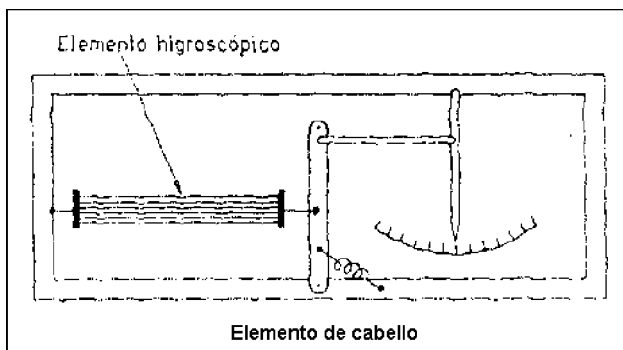
*Instrumentos de medida de la humedad en aire y gases*

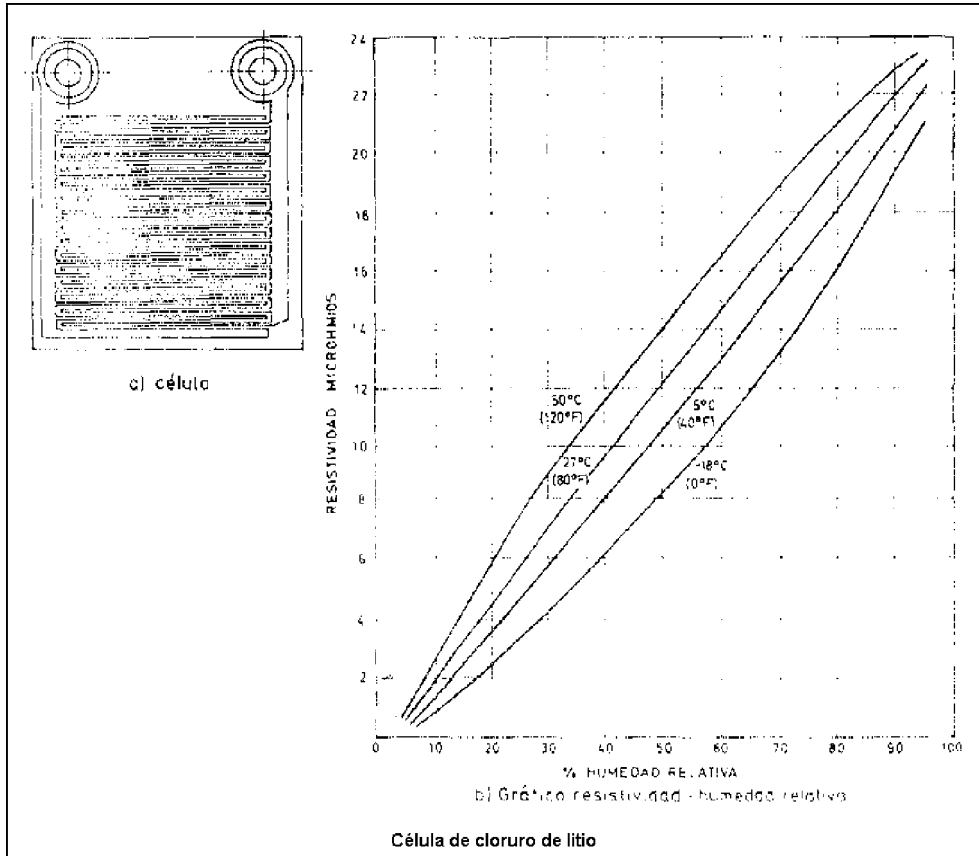
Cabe decir que la humedad de un gas se referirá a la masa de vapor de agua contenida en una masa determinada de gas.

Para la determinación de la humedad pueden emplearse varios métodos:

*Método de elemento de cabello (o nailon).* Se basan en la variación lineal de la longitud de ciertos materiales sensibles a la humedad

*Célula de cloruro de litio.* Este dispositivo tiene la propiedad de variar su resistencia en función de la humedad ambiente.

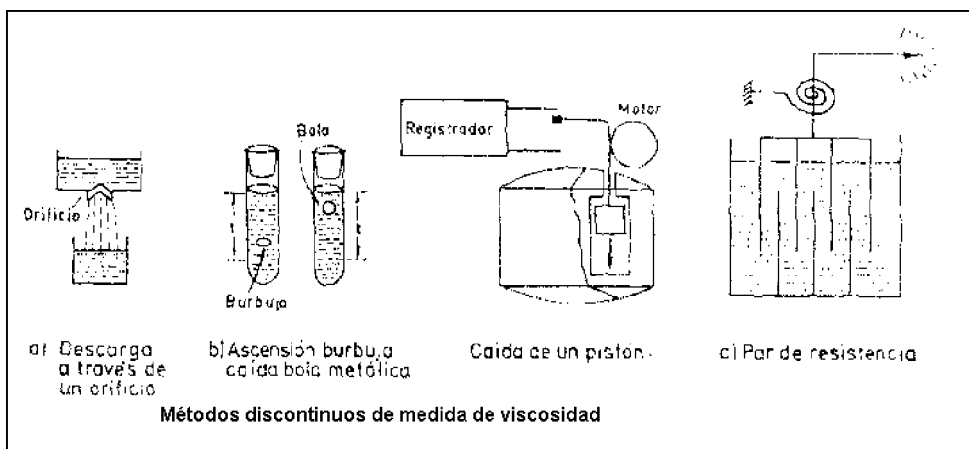




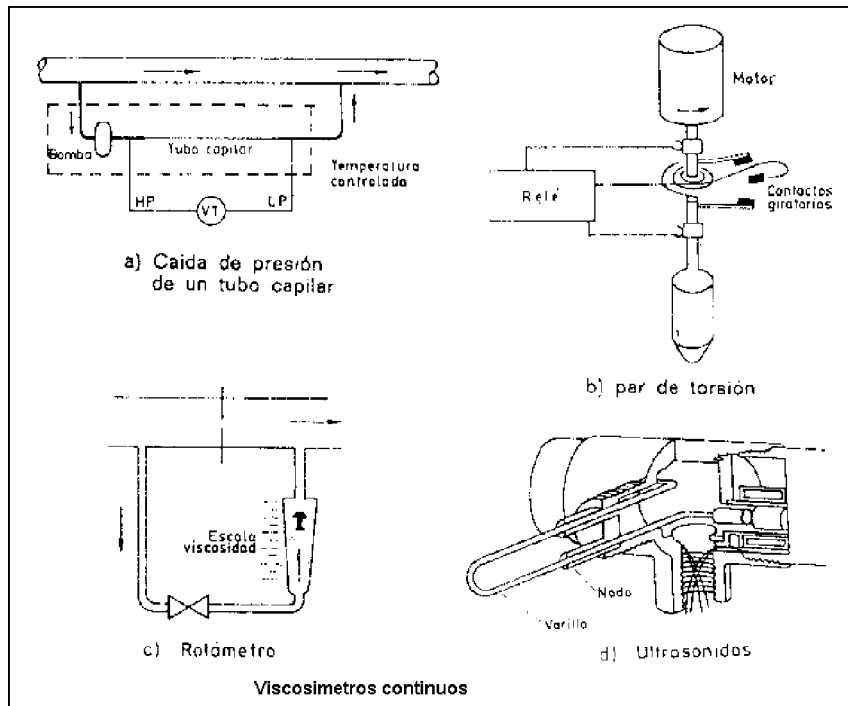
*Instrumentos de medida de la viscosidad. Viscosímetros*

La viscosidad de un fluido se puede determinar de forma discontinua o continua.

A continuación se presentan diversos tipos de viscosímetros discontinuos, basan su medida en el tiempo de fluencia del fluido, y la resistencia al movimiento de un cuerpo en el seno del mismo.



Así mismo estos diseños corresponderán al tipo continuo. Tienen un fundamento parecido al de los continuos, recurriendo también a la pérdida de carga del fluido.

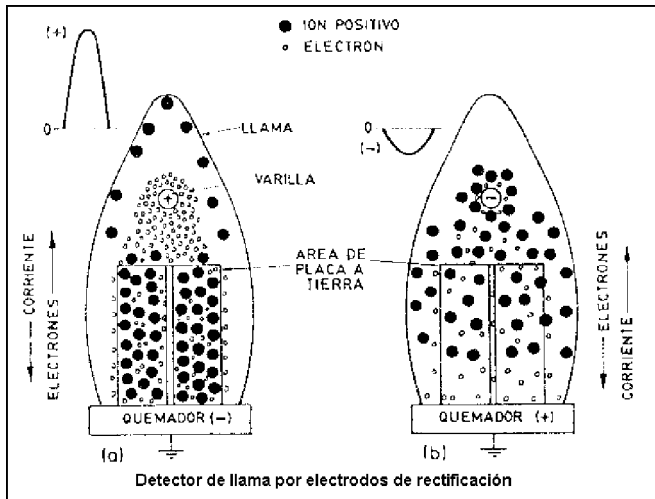


### *Instrumentos detectores de llama*

La detección de la llama en la industria es muy importante desde el punto de vista de seguridad. Este tipo de sistema se utilizará en hornos y calderas donde por cuestiones de seguridad es muy importante conocer si existe llama en el hogar. Existen distintos tipos de dispositivos para este fin, de los que se presentan los principales:

**Detectores de calor.** El calor desprendido por la llama activa detectores térmicos, como termopares, etc.

**Detectores de ionización-rectificación.** En este tipo de detectores la presencia de la llama produce la existencia de corriente entre electrodos. Esta circulación es posible por fenómenos de ionización y de rectificación respectivamente.



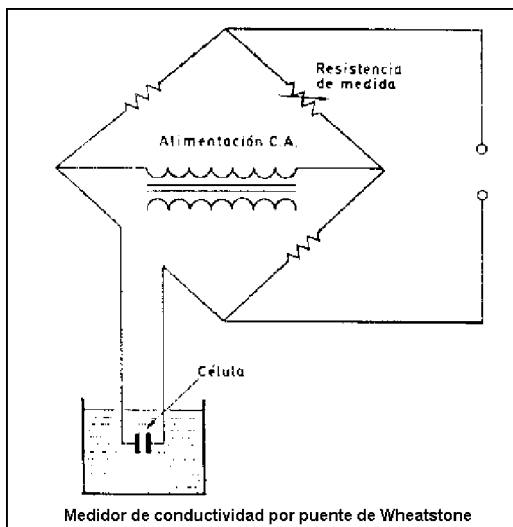
*Detectores de radiaci3n.* Se fundamentan en la absorci3n de la energa irradiada por la llama.

*Instrumentos detectores de variables quimicas*

*Conductividad*

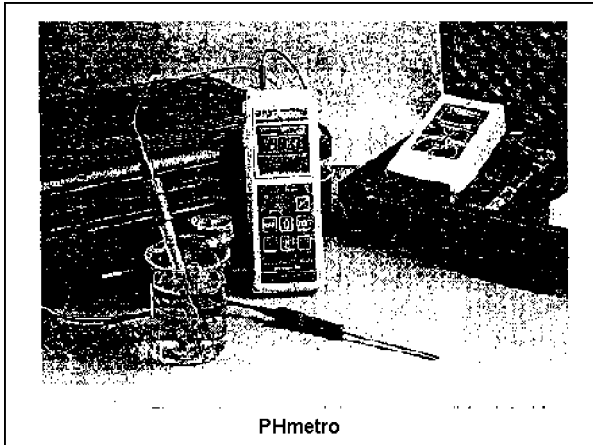
La conductividad es la capacidad de una soluci3n acuosa para conducir una corriente el3ctrica, la facilidad que ofrece a ello.

Para medir tal par3metro s3lo tendremos que disponer un sistema que induzca una tensi3n alterna en el fluido produci3ndose por ello un paso de corriente a trav3s de la disoluci3n. Del valor de esta se puede deducir la conductividad de la disoluci3n. Se presentan dos esquemas constructivos:



## *pH*

El pH es una medida de la acidez de una disolución. Para su determinación el método más empleado es el de *electrodo de vidrio*. Se fundamenta en la determinación del potencial del electrodo que es directamente proporcional al pH de la disolución.



## *Concentración de gases. Analizador de infrarrojos*

Es de gran importancia determinar la concentración de gases tales como el  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}+\text{H}_2$  en los gases de combustión, para ver si esta es óptima.

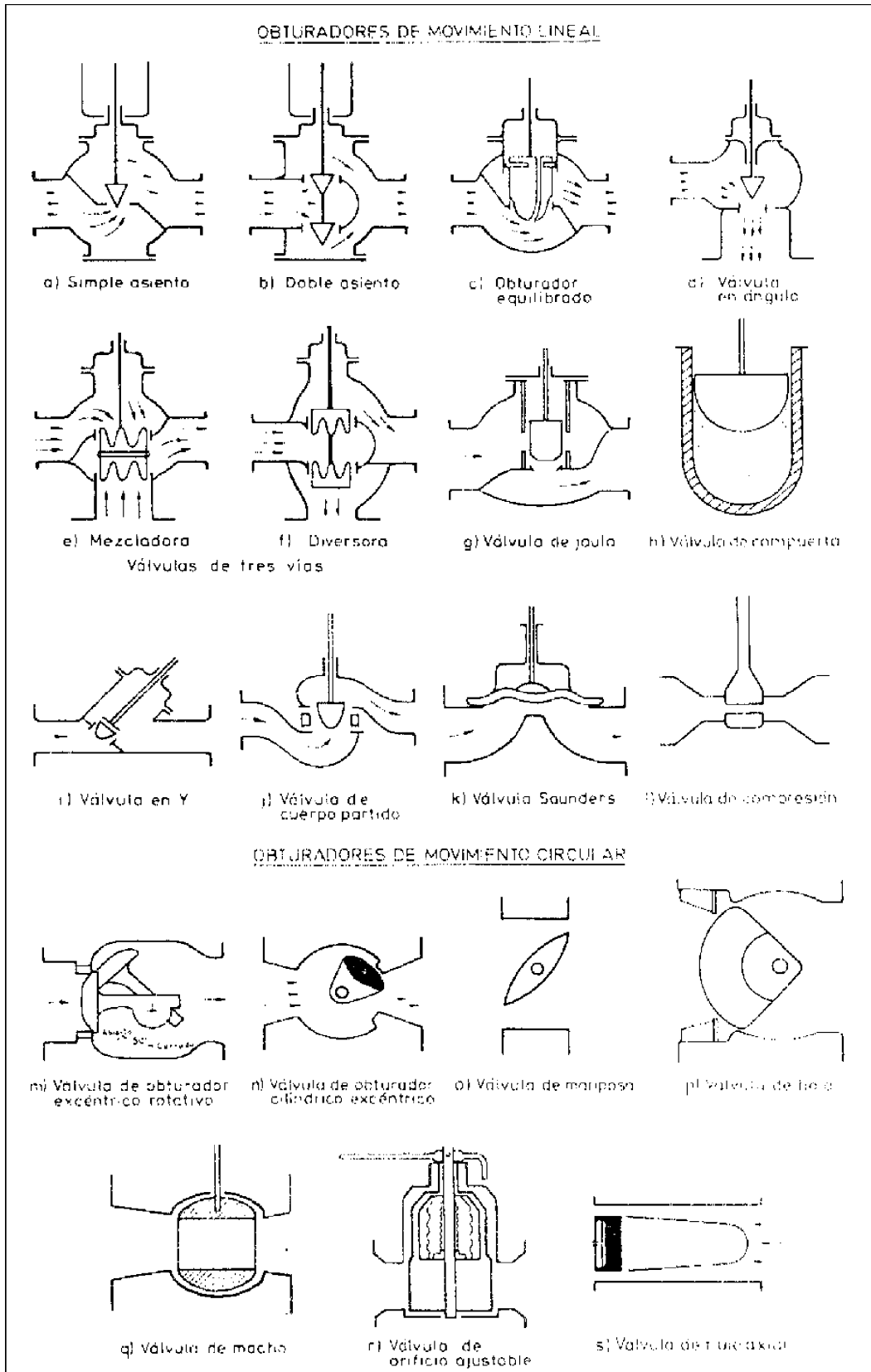
El sistema más utilizado es el detector de infrarrojos. Se basa en la distinta absorción de la radiación infrarroja por los gases, según su naturaleza. Se compara la absorción de la muestra con una celda patrón de concentración conocida en el gas de estudio, al ser proporcional la absorción a la concentración se podrá deducir esta última.

## *Elementos finales de control*

### *Válvulas de control*

En el control automático de los procesos industriales la válvula de control juega un papel muy importante en la regulación. Realiza la función de variar el caudal del fluido de control que modifica a su vez el valor de la variable medida comportándose como un orificio de área continuamente variable.

Presentamos a continuación las distintas disposiciones de válvulas existentes.



## Otros elementos finales de control

Existen otros elementos complementarios a las válvulas de control para llevar a cabo las labores de control al proceso. Estos elementos básicamente serán:

- *Bombas dosificadoras.* Se utilizan en el envío de cantidades precisas de líquidos para mezclas, para control de Ph, adición de aditivos, etc.
- *Actuadores de velocidad variable.* Gobernarán la velocidad de bombas centrífugas, ventiladores, compresores, variando de este modo el caudal de fluido.
- *Otros instrumentos variadores de caudal.* Actuarán los mismo que las válvulas variando la sección del paso del fluido. Un ejemplo de ellos serán las persianas de control que se emplean en los aerorefrigerantes.

