

Instrumentación

J. M. TOBIO

Jefe del Departamento de Metrología del I. E. T. c. c.

0. INTRODUCCION

El fin esencial de un sistema de medidas en fábrica de cemento es transmitir continuamente, o a intervalos recurrentes, las medidas de una magnitud variable, hasta un centro de control. Estas medidas pueden utilizarse, sencillamente, para ser expuestas en aparatos de indicación o registro o, como paso final, para controlar, por medio de equipos auxiliares, determinados procesos.

En cualquier caso, la secuencia de la operación es siempre la misma: Conversión de la variable en una indicación eléctrica, neumática o electro-mecánica proporcional a ella, transmisión de esta indicación a distancia sin pérdida de precisión y, por último, recepción de esta indicación y reconversión en otra magnitud adecuada para ser registrada o enviada a un ordenador para tratamiento ulterior.

Resumiendo, podemos decir que los elementos fundamentales de un sistema de telemedidas en fábrica son tres: *captador o emisor, receptor y circuito de interconexión o canal.*

En cualquier proyecto de automatización, cada uno de estos tres pasos debe ser estudiado separadamente.

Si pensamos que, por término medio, en una fábrica de cemento automatizada existen unos 500 captadores de señal de funcionamiento continuo (con indicación digital o analógica) y más de 1.000 captadores-relé con señal todo-o-nada, es fácil comprender que la complejidad de un estudio global de automatización, es enorme.

El método normal de controlar plantas es medir y controlar propiedades tales como flujos, temperaturas, presiones, niveles, caudales, velocidades y, por supuesto, composición química.

Dado que el producto resultante —cemento— tiene que satisfacer determinadas especificaciones bastante rígidas, con un coste global mínimo, es necesario conocer, en cada etapa del proceso, todas y cada una de estas variables.

Si la calidad y composición del producto se controla mediante pruebas efectuadas fuera del circuito, sobre muestras tomadas en la planta y, basándose en estos resultados se ajustan las condiciones operatorias, las operaciones de toma de muestra, transporte, ensayo, informe y corrección representan un "tiempo muerto del sistema", durante el cual se está fabricando un producto de calidad desconocida.

La finalidad principal de un proyecto de automatización es reducir estos tiempos muertos a un mínimo; en otras palabras, trabajar en *tiempo real* como ahora se dice.

Existen firmas especializadas, la mayoría de ellas representadas en estos Coloquios, que están en condiciones de montar equipos muy estables para medir "casi todo" en una fábrica de cemento. Que pueden llevar los resultados de las medidas a un departamento de control centralizado sin pérdida apreciable de la información y que garantizan la fidelidad de estas medidas.

De todo ello hablarán competentes expertos con mucho mayor conocimiento de causa que nosotros.

Lo demás, a saber, la integración de estos análisis y medidas en los ordenadores y la acción de éstos para modificar *a distancia* la marcha de los procesos, mediante servomecanismos, también será objeto de tratamiento exhaustivo a lo largo de estos V^{os} Coloquios.

El simple esquema (figura 1) condensa, por así decirlo, la secuencia general de un circuito, bucle o "loop" de instrumentación.

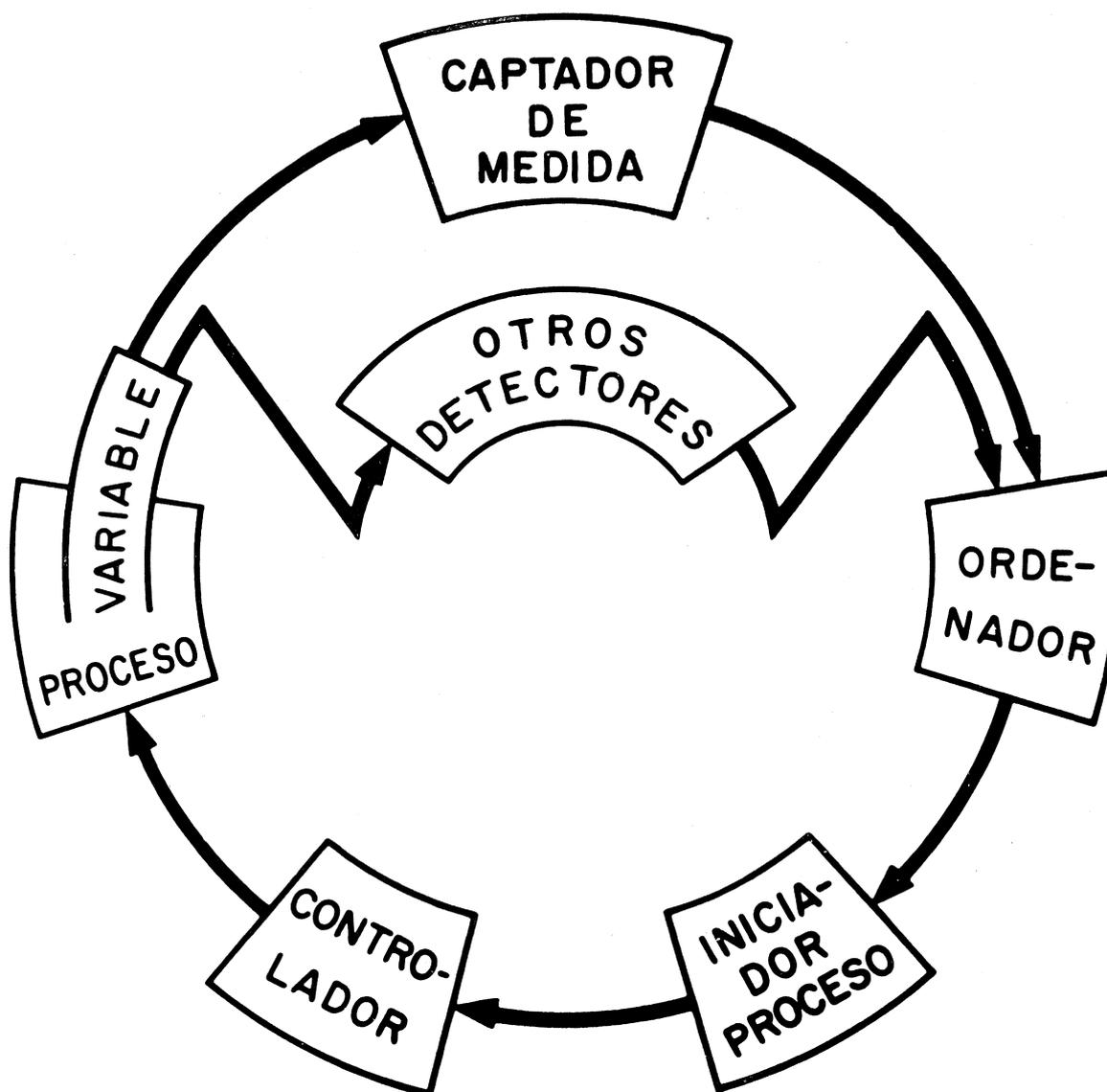


Fig. 1.—Circuito de instrumentación

Una fábrica automatizada no es más que el conjunto de varios de estos circuitos debidamente acoplados, sincronizados e integrados en la totalidad del proceso.

Debemos advertir, desde ahora, que, con muy pocas excepciones, el enlace entre cada uno de los elementos que forman el bucle es casi exclusivamente de naturaleza eléctrica o electrónica.

I. SELECCION DE INSTRUMENTOS

La gran variedad de captadores o transductores que la técnica ofrece al usuario, complica más que facilita la labor de selección. Es muy raro que el resultado de un proceso de selección sea tan claro que solamente *un dispositivo* aparezca como apto o calificado para cumplir la finalidad perseguida.

La selección óptima, generalmente, deberá ser hecha después de barajar ciertas consideraciones prácticas tales como comportamiento respecto al coste, sensibilidad y fidelidad (o respuesta a la frecuencia), complejidad respecto a la facilidad de instalación y mantenimiento, etc.

Que sepamos, aún no existe una fórmula mágica según la cual pueda seleccionarse el sistema de medida ideal para una circunstancia dada.

Cada año, cada mes, casi cada día, aparecen en el mercado nuevos captadores o transductores que pretenden invalidar, por su comportamiento, a sus predecesores. Esto complica aún más el problema de selección.

Es posible, sin embargo, sugerir algunos criterios generales de selección en los cuales, como es lógico, deben intervenir, de forma preponderante, las especificaciones suministradas por el fabricante de equipos.

Un químico de fábrica no puede ser experto en *todos* los instrumentos. Pero, sin embargo, debe conocer lo suficiente de cada uno y sobre sus métodos, con el fin de estar capacitado para elegir acertadamente aquel procedimiento que le ofrece las mayores ventajas a sus necesidades particulares.

En general, no debe confiar esta tarea *exclusivamente* a los especialistas instrumentales o a los analíticos puros, ya que, mejor que aquéllos, conoce el adecuado lugar que un determinado equipo puede ocupar en el esquema general del proceso del cual es responsable.

I-1. Campo de medida

Un excelente punto de partida en la selección es el parámetro fundamental denominado campo de medida. Es obvio que, en general, no necesitaremos nunca medir temperaturas entre 0° y 1.000°C o presiones entre una y varios cientos de atmósferas. Tampoco pretendemos utilizar un aparato de diafragma para controlar vacíos de 10^{-13} torr.

Estos son ejemplos extremos pero ayudan a eliminar, de entrada, ciertos equipos.

En el caso de la composición química, es obvio que el principal criterio que debe tenerse en cuenta es la facultad que posee un determinado equipo para mostrarse sensible a los cambios de composición requeridos, dentro de solamente unas cuantas sustancias, pues no debemos olvidar que el instrumento de análisis universal no existe.

En lo que respecta a la industria del cemento, tales aparatos deben ser solamente sensibles frente a las variaciones cuantitativas de menos de media docena de componentes, excluyendo las indicaciones de orden cualitativo.

Con respecto a las medidas de flujo, caudal, nivel y otras, la mayoría de los instrumentos poseen un campo de medida **suficientemente amplio** para pasar fácilmente este primer criterio seleccionador.

I-2. Banda utilizable

Aun cuando un instrumento puede satisfacer la condición anterior, es decir, poseer un campo de medida adecuado, el margen utilizable puede no resultar conveniente. Entendemos por banda o margen los límites inferior y superior entre los cuales hemos de medir realmente.

Así, un instrumento con ± 1 % de precisión dará indicaciones legibles de media unidad si la banda es 50 unidades, mientras que solamente podrán apreciarse las 5 unidades si la banda es 500 unidades.

Los instrumentos modernos poseen, en cierto modo, la facultad de poder cambiar la banda de medida a voluntad, e incluso, la posición relativa del cero. Generalmente la posición del cero y la banda empleada están tan relacionados que no puede ajustarse uno independientemente del otro.

I-3. Precisión y sensibilidad

Lo mismo que con los criterios I-1 y I-2 la precisión y sensibilidad que se requieren de un aparato vienen fijadas por las condiciones de proyecto.

No debe sorprendernos que precisión y sensibilidad sean casi siempre función del coste del aparato. Por consiguiente, aquí hay que ser realistas.

Los técnicos tenemos tendencia a pedir más de lo que realmente necesitamos. Generalmente, la industria de instrumentos es muy honesta en lo que respecta a las especificaciones de los aparatos que ofrece. No hay, por tanto, porque ponerse del “lado de la seguridad” como tantas veces tratamos de hacer.

Si lo hacemos, corremos el riesgo de “tirar” literalmente el dinero.

El usuario es muchas veces el responsable de aplicar mal un determinado equipo. No hay que olvidar que la precisión total de una medida no puede ser superior a la del transductor o captador empleado. La sensibilidad de éste no puede mejorarse por muchos amplificadores que instalemos.

No es infrecuente que el cliente exija un indicador de temperatura a la décima de grado y, al mismo tiempo, especifique un transductor que a duras penas puede sensibilizar el grado o grado y medio.

Otras veces, y para no cambiar de ejemplo, el usuario coloca el captador en un punto que no es el más adecuado para sacar partido de la alta sensibilidad y precisión del equipo. Tal ocurre cuando se instala un captador sensitivo en un emplazamiento que puede resultar interferido por un recubrimiento inadecuado en cuanto a sus características de transmisión de calor. A pesar de ello, todavía pretendemos que la sensibilidad de la medida y la velocidad de respuesta a la temperatura sean las especificadas originalmente.

Muchas veces, las consideraciones de facilidad de instalación y entretenimiento nos obligan a colocar el captador en un punto prácticamente estratégico, pero inadecuado desde el punto de vista de la sensibilidad, precisión y representatividad.

I-4. Precisión y sensibilidad intrínsecas y reales

En la práctica, la precisión y la sensibilidad suponen un compromiso con otros factores.

Una cosa son la sensibilidad y precisión “de proyecto” y otra —a veces muy diferente— las conseguidas prácticamente.

Un caso práctico es la necesidad de disponer de protectores sobre los elementos sensibles. Por ejemplo, en las medidas de temperatura suele ser preciso instalar fundas o cañas protectoras sobre los termopares, cuya masa es muy grande comparada con la propia del elemento sensible. Esta protección resulta indispensable en ambientes agresivos.

No hace falta decir que esta masa extra absorbe y cede calor mucho más lentamente que el par desnudo. En estas circunstancias, no puede hacerse uso pleno de las propiedades de sensibilidad y respuesta del captador.

Del mismo modo, la sensibilidad total de un captador de presión no puede lograrse cuando hay que disponer un fluido intermedio, un cierre estanco o un sistema mecánico que impone una impedancia extra al aparato.

Para decirlo de otro modo: la práctica de montaje impone una “degradación” de las características fundamentales de un captador, con la cual hay que contar siempre.

I-5. El criterio del coste

El técnico de proyectos dispone, generalmente, de un presupuesto total para la automatización. Pero la selección de equipos no es solamente dependiente del coste inicial, sino una integral de éste y de los gastos subsiguientes que se producen durante la “vida útil” del equipo.

Pueden plantearse graves y peliagudos dilemas. ¿Qué es mejor, montar dos equipos baratos en paralelo o uno solo de características superiores y precio más alto? ¿La primera solución puede resultar ventajosa frente a un fallo ocasional? Es difícil contestar a estas preguntas.

Una vez establecido un proyecto de medida y automatización, y a la vista de los costes de primera instalación y mantenimiento de los equipos, no estará de más replantear de nuevo el proyecto, con el presupuesto a la vista, eliminando un cierto número de medidas que realmente no son demasiado significativas, o suprimiendo registradores en aquellos puntos en que basta con la indicación.

Los ahorros logrados en este replanteo pueden acumularse en aquellos equipos que resultan supercruciales para el éxito del proceso y que pueden así mejorarse.

I-6. Configuración del sistema

Una vez aplicados los anteriores criterios de selección, puede llegarse a la conclusión de que uno o varios equipos satisfacen las condiciones estipuladas. Ahora, es preciso determinar cuál de estos métodos, si existe, es obtenible comercialmente en un formato o configuración lo más adecuado posible para la aplicación buscada.

Si barajamos unos cuantos catálogos de instrumentos, veremos que hay varios millares de posibles combinaciones de los mismos. Esto complica el problema.

Hay que decidir si queremos instrumentos de indicación o registro; dispositivos memorizadores o de transferencia de señales a un equipo electrónico de procesos. Si deseamos dispositivos inscriptores horizontales, verticales o circulares; de banda ancha o de banda estrecha. De almacenamiento de datos en cinta, banda magnética o tarjeta perforada.

Si el mando de los procesos ha de ser eléctrico, electrónico, neumático, hidráulico, mixto o simplemente mecánico. Si ha de ser un dispositivo sencillo de mando, de dos posiciones, o un control proporcional, de velocidad fija o variable.

Si el aparato ha de estar ubicado en la inmediata vecindad del lugar de medida o si debe enviar sus señales a varios cientos de metros de distancia.

Existen, incluso, problemas de estética en el montaje.

En teoría, cualquier forma de indicación, registro o almacenaje de datos es posible, pero el grado de sofisticación deseado se reflejará necesariamente en el coste del equipo.

II. ALGUNOS EJEMPLOS INSTRUMENTALES

Los equipos de análisis químico de materias, por fluorescencia de rayos X, cromatografía, absorción atómica, resonancia magnética nuclear y otros, forman un campo bien definido y suficientemente extenso para que no podamos tratarlo aquí. Lo mismo diremos de los analizadores de gases.

Nos limitaremos a exponer algunas generalidades sobre instrumentos de medida de temperatura, presión, flujo, nivel y densidad, cuya amplia aplicación en la planta de cemento está fuera de duda. También, por otra parte, el tema está más en consonancia con las actividades del Departamento de Metrología.

II-1. Temperatura

La tabla I muestra claramente los respectivos campos de medida posibles para diversos elementos sensibles.

Los elementos de carácter eléctrico tales como termopares, resistencias, etc., se prestan mejor que otros para los sistemas múltiples, es decir, para aquellos casos en que se emplean diversos campos de medida. También son más adaptables al registro de varios puntos a la vez (con un solo registrador), y para obtener una salida de carácter digital—después de la correspondiente conversión— susceptible de alimentar un ordenador.

Respecto a la sensibilidad, no debemos perder de vista que más que la sensibilidad del elemento sensible, interesa la de la totalidad del sistema. En cualquier caso, la sensibilidad es la relación entre el cambio en la salida y el cambio a la entrada (ΔT).

Para un termopar puede ser de 10 a 50 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Para un termómetro de resistencia puede oscilar entre 0,00392 y 0,00630 $\text{ohm}/^\circ\text{C}$, según los materiales. En cualquier caso lo que interesa es la sensibilidad del sistema total que, para aparatos industriales, viene a ser 0,03 % de la banda de medida.

Es decir, para un aparato que mida 1.000°C será posible detectar $0,3^\circ\text{C}$. Todo ello puede aplicarse a los termómetros de fluido, a bimetales y a elementos metálicos.

La precisión puede definirse como la relación entre el error del valor indicado y el valor real de temperatura. Se expresa, generalmente, para aparatos industriales, como un porcentaje de la banda de medida.

Otro punto importante es la velocidad de respuesta, definida como el tiempo requerido por el instrumento para leer un porcentaje especificado del salto de temperatura, cuando se aplica un impulso instantáneo de calor. Este porcentaje se establece, generalmente, como 63.

Las figuras 2 y 3 muestran el tiempo de respuesta para termopares y termómetros de fluido, respectivamente.

T A B L A I

(Elementos para la medida de temperatura)

E l e m e n t o	Lím. Inf. T°	Lím. Sup. T°	Notas
TERMOPARES	°C	°C	(1)
Cobre-constantán.	-184	370	
Hierro-constantán.	-184	760	(2)
Cromel-constantán.	0	870	(3)
Cromel-alumel.	0	1.260	(4)
Pt-Pt/Rh 10 %.	0	1.480	(5)
Pt-Pt/Rh 13 %.	0	1.480	(5)
Pt-Ir/Pa-Platinel.	0	1.370	(6)
Ir-Rh/Ir.	774	1.980	
RESISTENCIAS			
Platino.	-198	537	(7)
Níquel.	- 40	200	(8)
Cobre.	-200	120	(9)
PIROMETROS "RT"			
Escala alta.	920	4.000	
" intermedia.	540	1.870	
" baja.	260	650	
" inferior.	40	370	
PIROMETROS ESPECTRALES			
Pirómetro óptico.	760	4.150	(10)
" bicolor.	760	3.600	(11)
TERMISTORES	-103	400	
TERMOMETROS DE FLUIDOS			
De líquido (IA-Sama).	-184	320	
De mercurio.	- 36	540	
De vapor.	-254	320	
De gas.	-268	760	
TERMOMETROS BIMETALICOS	-190	540	
PINTURAS Y PLASTICOS			
Termográficos.	40	1.370	

Notas: (1) El límite superior de temperatura depende del calibre del hilo y de la protección; (2) Se puede usar intermitentemente a temperaturas de hasta 857°C; (3) Intermitentemente hasta 996°C; (4) Intermitentemente hasta 1.316°C; (5) Intermitentemente hasta 1.600°C; (6) El platinel es una aleación oro-paladio; (7) Con precauciones, las resistencias de platino pueden emplearse hasta -257°C; (8) Con precauciones especiales pueden utilizarse hasta -152° y 300°C; (9) Pirómetros de radiación total (RT). Teóricamente no hay límite superior de temperatura; (10) La cifra de 4.150°C representa el punto donde la longitud de onda de un pirómetro típico alcanza un máximo. Teóricamente no hay límite para esta temperatura; (11) El pirómetro bicolor se basa en la relación de energía de dos bandas de onda. Teóricamente el límite superior depende de las bandas seleccionadas.

Otra cuestión general es la medida de temperaturas sin contacto físico con el medio. El pirómetro de radiación es un ejemplo típico.

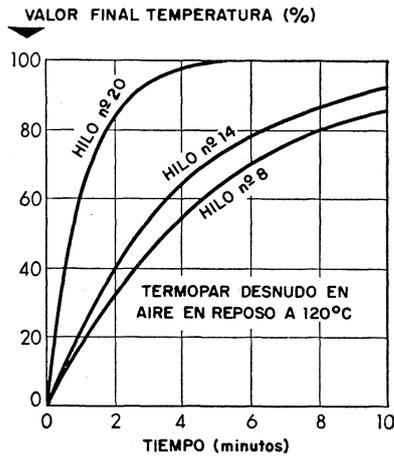


Fig. 2

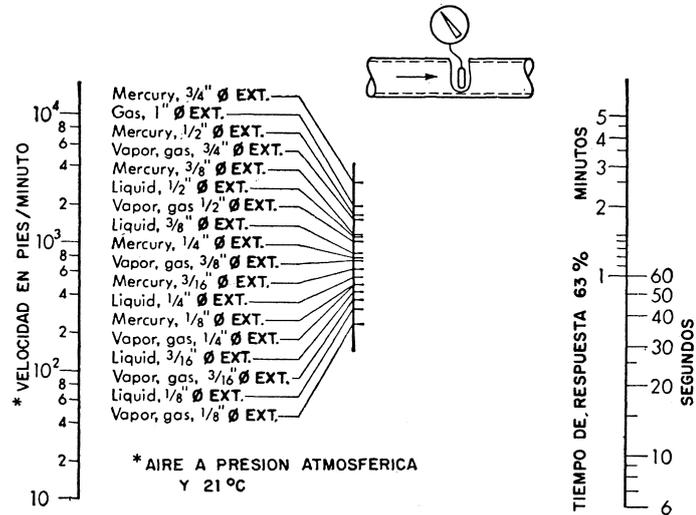


Fig. 3

Para máquinas rotativas tales como el horno de cemento, pueden emplearse cañas termoeléctricas y anillos rozantes para extraer la señal eléctrica producida. Pero es mucho más práctico emplear pirómetros de radiación, convenientemente protegidos contra el polvo y el humo. Incluso enfriados con camisa de agua para proteger el elemento sensible (figura 4).

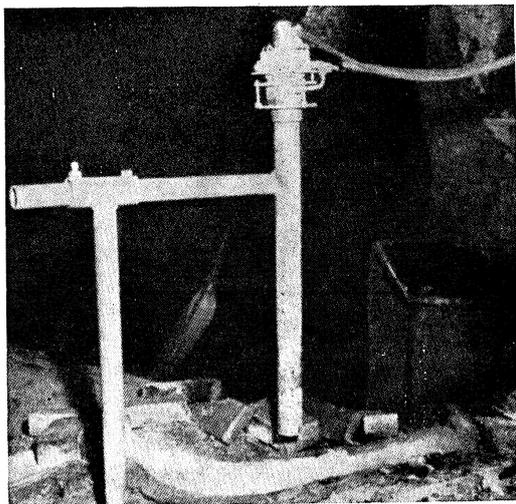


Fig. 4

Otra familia de elementos termométricos es la formada por los pirómetros fotovoltaicos, los fotométricos y los bicolor; todos ellos espectralmente selectivos.

Los fotovoltaicos son similares a los de radiación total, excepto en lo que se refiere a la respuesta espectral, que aquí viene confinada a una longitud de onda específica. Esta longitud se puede elegir de tal forma que la respuesta sea la más indicada para la aplicación concreta deseada. Los pirómetros fotovoltaicos son algo menos afectados por el polvo y el humo que los de radiación total.

En los pirómetros ópticos o fotométricos se compara la energía de una banda específica de longitudes de onda emitidas por un "blanco" con la de una fuente interna standard.

Hay pirómetros de accionamiento manual y automático. Su sensibilidad es de 1°C (a 1.000°C) para los manuales y de 0,1°C para los automáticos.

Los pirómetros bicolor hacen la medida tomando la relación de energía en dos bandas espectrales. Si la emisividad de la superficie emisora que se mide es la misma para las dos bandas espectrales, la medida de temperatura es independiente del nivel de emisividad real.

Esto presenta la gran ventaja de que estos equipos no vienen afectados por la presencia de polvo y humo, lo cual es muy importante en el caso de hornos rotatorios. Estos aparatos son más bien caros (unas 300.000 pesetas).

Para temperaturas no muy elevadas, tales como las existentes en molinos, desecadores, etc., pueden valer los termómetros de fluido (ver tabla I). En ellos, un bulbo termométrico localizado en el punto de medida está conectado por un tubo capilar con un elemento helicoidal metálico que actúa como un manómetro (fig. 5).

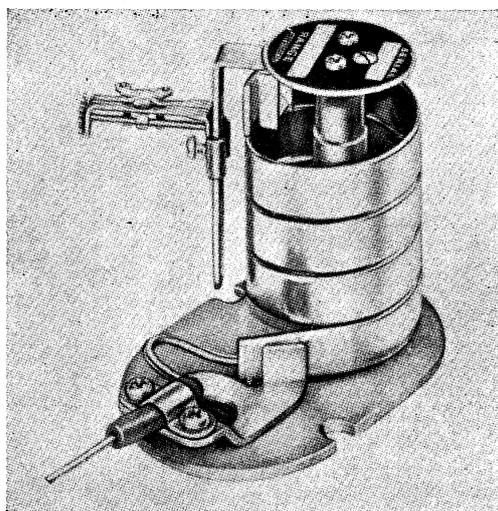


Fig. 5

Los elementos termométricos a base de termistores o termistancias se distinguen por su pequeño tamaño y su excelente respuesta térmica. Están especialmente indicados para medir sobre la superficie de máquinas, a temperaturas no muy elevadas.

II-2. Presión

Los sistemas de medida de presión pueden clasificarse en tres categorías: Presiones positivas desde una atmósfera hasta 7.000 kp/cm²; vacíos, desde unos cuantos cm de columna de agua hasta 10⁻³ torr (1 torr = 1 mm de c. Hg); presiones positivas/vacío desde 0,076 kp/cm² hasta -0,076 kp/cm².

Para presiones positivas de 7 kp/cm² y más elevadas se emplean elementos sensibles elásticos tipo bourdon, hélices, espirales o diafragmas. Para presiones más bajas se utilizan

manómetros y campanas, y para vacíos altos y muy altos (de los que no vamos a hablar) se usan captadores McLeod y dispositivos electrónicos.

Las características generales de estos sistemas de medida de presión pueden verse en la tabla II.

Los sistemas bourdon utilizados desde hace más de un siglo constituyen aún hoy los medidores de presión más utilizados. Como muestra la figura 6, los elementos elásticos contruidos en diversos metales y aleaciones pueden fabricarse en tres formas principales: El tipo "C", el espiral, y el helicoidal. En todo caso, las distintas formas tienen por objeto aumentar la carrera del índice indicador para un cambio de presión dado.

Es evidente que hay numerosos accesorios magnéticos, eléctricos o electrónicos que pueden acoplarse a los bourdon para transmitir sus señales a cierta distancia. La figura 7 muestra una afortunada combinación de un bourdon y un transformador diferencial, capaz de enviar sus señales (eléctricas) a distancias relativamente grandes.

Un bourdon helicoidal construido con tubo de cuarzo fundido y resistente a la corrosión es el de la figura 8. Posee una alta resolución, de una parte en 100.000 y puede medir hasta 35 atmósferas. La precisión es de 0,01 %. Su inconveniente principal es la lentitud de respuesta (unos 2 minutos para desviación a plena escala).

T A B L A I I

(Elementos para la medida de presión)

T i p o	Campo máximo		Banda mínima	Sensibilidad	Precisión	Respuesta
	Bajo kp/cm ²	Alto kp/cm ²				
ELEMENTOS ELASTICOS						
Bourdon "C".	1	700	0,7 kp/cm ²	0,01 % banda	0,05 % banda	.....
Bourdon helicoidal.	7	700	7,0 "	0,01 % "	0,05 % "	.....
Bourdon espiral.	1	1.700	1,0 "	0,01 % "	0,05 % "	.....
Fuelle-resorte	0	35	0,35 "	0,25 % "	0,50 % "	.....
Fuelles opuestos.	0	14	1,0 "	0,10 % "	0,25 % "	.....
Diafragmas.	0	2.000 mm de c.a.	25 mm de c.a.	0,25 % "	1,0 % "	.....
Diafragma metálico.	0	10 kp/cm ²	75 mm de c.a.	0,25 % "	1,25 % "	.....
Bourdon cuarzo.	0	35 "	0,35 kp/cm ²	0,003 mm de c. Hg	0,1 % de la lectura	2 min. plena escala
MANOMETROS Y CAMPANAS						
Manómetro de Hg.	0	800 mm de c. Hg	1 mm de c. Hg	0,1 mm de c. Hg	0,1 mm de c. Hg	.....
Tubo inclinado.	12	1.200 mm de c.a.	25 mm de c.a.	0,25 mm de c.a.	2 % plena escala	.....
Campana Ledoux.		máxima presión diferencial desde 0 a 350 cm de agua			.....	.....
Campana invertida.	-760	50 mm de c.a.	2,5 mm de c.a.	0,03 mm de c.a.	0,5 mm de c.a.	.....
ELEMENTOS ELECTRICOS						
Capacitivos.	0	350 kp/cm ²	0,007 kp/cm ²	0,02 % plena escala	0,15 % plena escala	25 mS para un 63 %
Con strain-gauges:						
Fuelle-palanca.	0,35	4,0 "	30 mV	0,1 % plena escala	0,25 % plena escala	20 Hz
Diafragma catenario.	7	2.800 "	30 mV	0,1 % "	0,25 % "	20.000 Hz
Tubo plano o cilíndrico.	7	14.000 "	15-30 mV	0,1 % "	0,25 % "	10.000 Hz
Diafragma-palanca.	1	70 "	30 mV	0,1 % "	0,25 % "	500 Hz

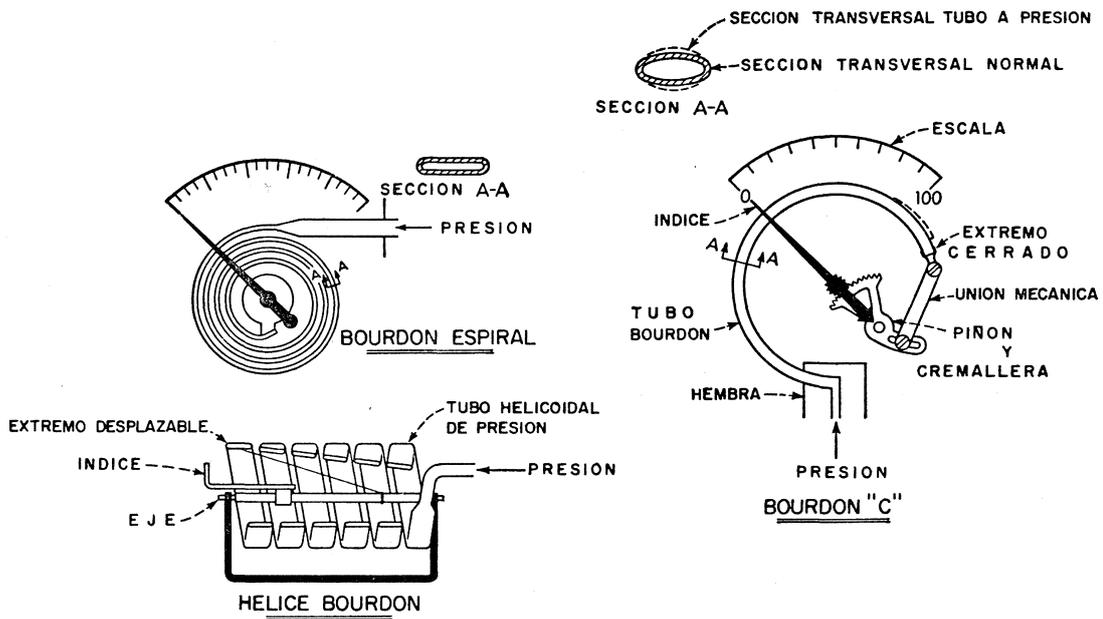


Fig. 6

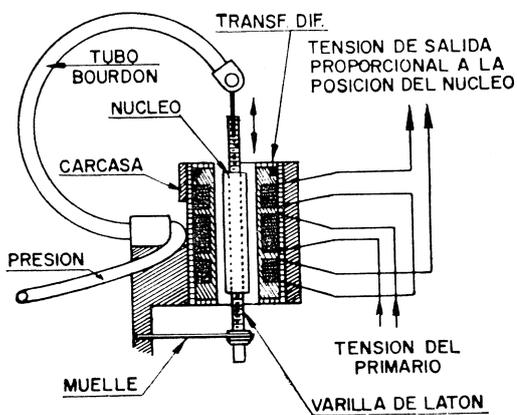


Fig. 7

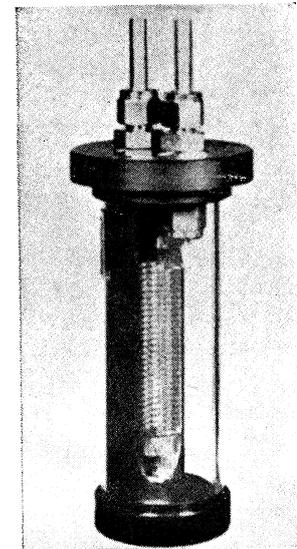


Fig. 8

Los medidores de presión de tipo cápsula o diafragma pueden adoptar diversas configuraciones (fig. 9). Constan, generalmente, de dos diafragmas metálicos corrugados unidos por su periferia. Pueden emplearse para presiones de 0 a 3.500 mm de c.a.

Cuando se hace el vacío entre los dos diafragmas, el aparato se utiliza para medir presiones absolutas. Se construyen en metales resistentes a la corrosión, aunque también pueden construirse en caucho y otros elastómeros, tal como muestra la figura 10.

Para medidas de presiones positivas bajas en hornos, enfriadores, conductos de humos, chimeneas, colectores, etc., se adapta muy bien el manómetro de campana invertida (figura 11).

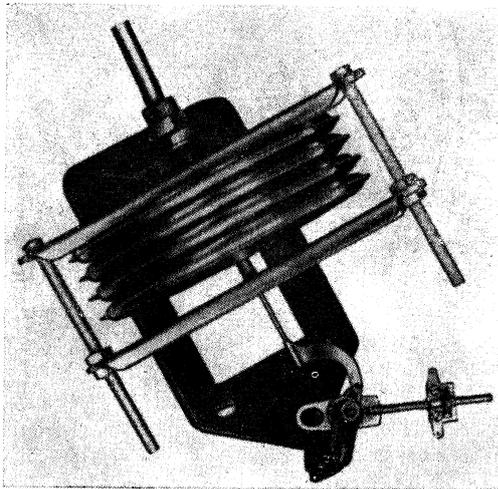


Fig. 9

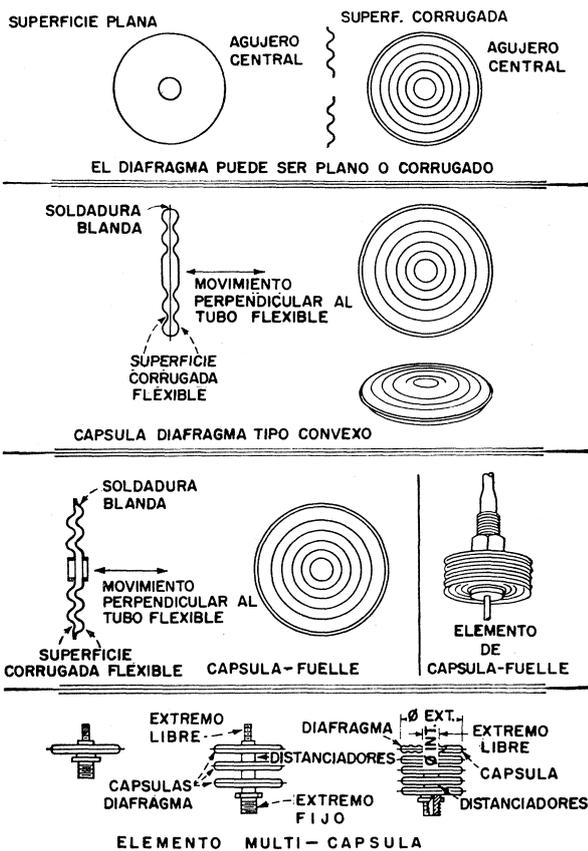
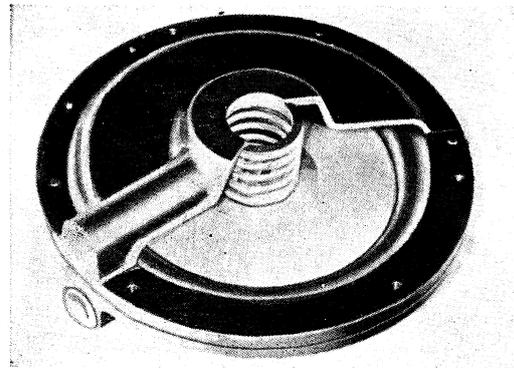


Fig. 10



CAPSULA DIAFRAGMA TIPO CONVEXO

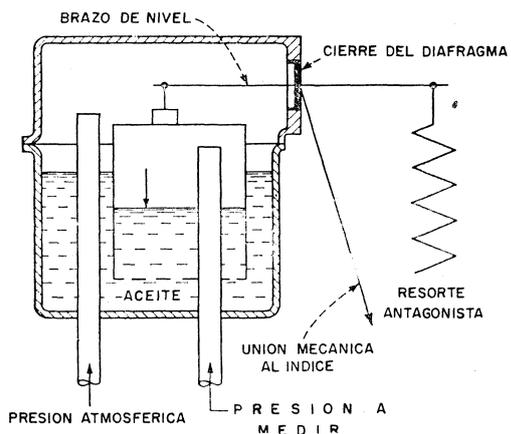


Fig. 11

La campana va sumergida en aceite y la gran sensibilidad del aparato (tabla II) deriva de la gran superficie operante de la misma.

Los manómetros capacitivos poseen un diafragma sobre el cual se aplica la presión. La deformación de éste origina un cambio de capacidad eléctrica de un condensador, tal como muestra el sencillo esquema de la figura 12.

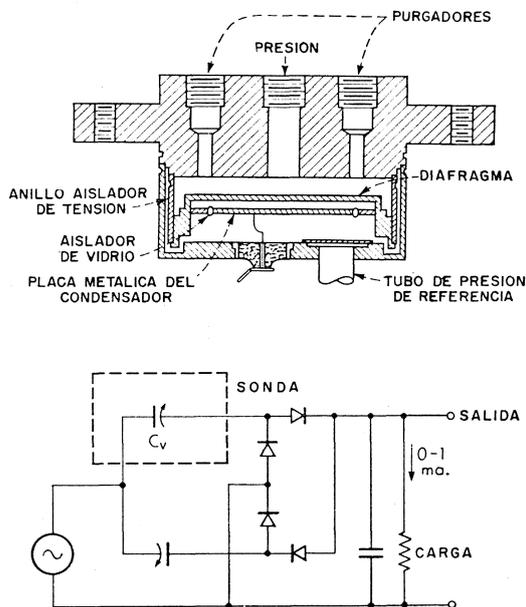


Fig. 12

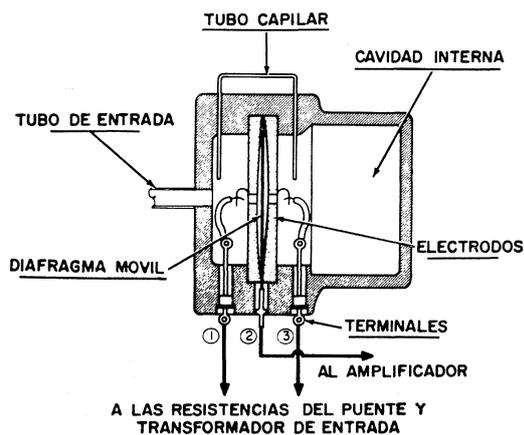


Fig. 13

La precisión de estos aparatos es de $\pm 0,1 \%$.

Un tipo muy reciente, de elevada linealidad, es el representado en la figura 13, que consta de un diafragma extendido entre dos electrodos. Se eliminan así las capacidades parásitas y la deriva del cero.

Cualquier membrana sensible a la presión puede llevar sobre ella galgas extensométricas, tipo strain-gauges, o transformadores diferenciales (como en la figura 7). Todo ello aumenta en forma casi infinita el número de combinaciones más o menos ingeniosas, para convertir las variaciones de presión en señales eléctricas que pueden transmitirse a distancia.

II-3. Flujo o caudal

La tabla III condensa los tipos más usuales de medidores de flujo o caudalímetros de mayor aplicación en la planta. Se indican en ella los campos de medida y los diámetros de tubería a la que son aplicables. La mayor parte de los dispositivos de desplazamiento positivo y los medidores de velocidad ofrecen un campo de medida digital lineal de relación 10:1 para un solo instrumento.

Como regla general debe mencionarse que los medidores de flujo, al contrario de lo que ocurría con los de temperatura, no se prestan al multirango o multiescala debido, principalmente, a que casi todos presentan salida de tipo presión o mecánica, en vez de eléctrica.

Por otra parte, salvo en el caso de adoptar mecanismos complicados o circuitos electrónicos diferenciadores, los medidores de caudal del tipo presión diferencial poseen escalas no lineales sino cuadráticas, lo que complica aún más los equipos.

T A B L A I I I
(Medida de caudales o flujos)

T i p o	Tubería (pulgadas)	Campo de medida	Precisión	N o t a s
MEDIDORES VOLUMÉTRICOS				
Pistón oscilante.	1/2 a 2	10-450 l/min.	0,2 %	Reproduc., 0,015 %.
Rotor lobulado.	1 1/2 a 24	30-600.000 l/min.	0,2 %	" 0,015 %.
Disco.	1/2 a 2	7-600 l/min.	1,0 %	" 0,1 %.
Bomba dosificadora.	.....	Ajustable del 4 al 100 % del campo.	1,0 %	Respuesta, 20 s.
DE AREA VARIABLE				
Rotámetro de balancín libre.	1/2 a 4	.....	0,5 a 2,0 %	Provisto de flotador-guía.
Rotámetro guía central.	1/2 a 4	.....	0,5 a 2,0 %	Con puente de inductancia para la transmisión.
Rotámetro de burbuja.	hasta 4	.....	0,5 a 2,0 %	Puede usarse sin guía central.
Rotámetro tubo metálico.	.....	.....	2 % del máximo de velocidad en by-pass	Para by-pass.
MEDIDORES DE VELOCIDAD Y CORRIENTE				
Vórtex para líquidos.	1 a 10	20-200 y 2.500-25.000 l/min.	0,5 %	Reproductibilidad, 0,1 %. Respuesta, 300-500 mS.
Vórtex para gas.	1 a 10	(depende de la presión).	1 %	Respuesta, 300-500 mS.
Vórtex flujo másico, gas.	1 a 10	2 a 10.000 kg/min.	0,2 %	Respuesta, 1 s.
Tipo turbina, señal magnética.	1 a 10	20 a 27.000 l/min.	0,25	Reproduct., 0,02 %.
Tipo con viscosidad compensada.	6 a 16	100 a 2.500 m ³ /h.	1,0 %	Reproduct. 0,015 %.
Medidor electromagnético.	.....	380 a 10 ⁶ l/día.	1,0 %	Responde casi instantáneamente.
Medidor de corriente.	2 a 36	.....	2,0 %	Descuento el flujo inverso.
DISPOSITIVOS PRIMARIOS PARA MEDIDORES DE PRESION DIFERENCIAL				
Placa de orificio.	1/2 a 72	.....	
Tobera de flujo.	3 a 24	.....	
Tubo de flujo.	3 a 48	.....	
Tubo Venturi.	3 a 48	.....	
Tubo Pitot.	3 a 48	.....	

Los campos de medida se dan en litros por minuto (l/min), kilogramos-masa por minuto (kg/min), metros cúbicos por hora (m³/h) y litros por día (l/día). Los dispositivos primarios: placa perforada, tobera, Venturi, Pitot, etc., deben ir acoplados a medidores de presión diferencial (capítulo II-2) y poseen campos de medida de 0 a 10 m de c.a. La respuesta es más bien lenta, de unos segundos a minutos.

También existen problemas para las medidas multipuntuales, debido a los sistemas mecánicos que suelen acompañar a estos medidores. Sin embargo, con la tendencia creciente a obtener salidas de tipo digital directo se han desarrollado convertidores analógico/digitales que pueden resolver estos problemas, si bien añadiendo un coste extra a los equipos.

Las precisiones de medida dadas en la tabla III son más bien teóricas y en la práctica no se alcanzarán, a menos que se adopten precauciones especiales de montaje y mantenimiento.

Respecto al tiempo de respuesta, hay que destacar la necesidad de un tiempo muerto mínimo, comparado con los medidores de temperatura o presión, especialmente cuando las indicaciones de caudal han de emplearse en conexión con un control digital directo.

Así se ha visto que, en el caso de un sistema de flujo —gas o líquido— para que el control del proceso sea óptimo, las indicaciones de flujo deben ocurrir, como mínimo, cada 0,1 segundos, mientras que este tiempo puede elevarse a 1 segundo para las medidas de presión, 10 segundos para las temperaturas y hasta 60 segundos para las de composición química o física.

Generalmente, el técnico de procesos está interesado en medir la *cantidad* de gas o líquido que pasa por un punto dado de una tubería y no la velocidad lineal del fluido. Ello hace preciso que, al mismo tiempo, puedan medirse la presión y temperatura de un gas, por ejemplo, o que éstas sean automáticamente compensadas, para obtener indicaciones fidedignas. Con líquidos, esto tiene menos importancia.

Otras veces, el usuario se enfrenta con el problema de medir la proporción o relación de dos fluidos, la de uno de ellos en un flujo de otros varios (en una mezcla, por ejemplo), o la proporción de flujo de líquido en relación con la cantidad de material sólido aportado.

Es prácticamente imposible hacer una revista a los tipos de caudalímetros más usuales, pues el ingenio humano se ha desbordado en relación con este campo de la metrología.

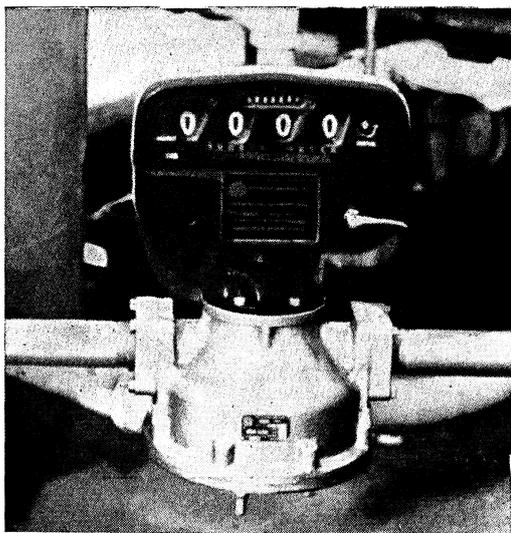


Fig. 14

La figura 14 muestra un medidor de tipo pistón oscilante, que tiene una sola parte móvil, el pistón, en contacto con el fluido que oscila en un movimiento circular entre dos superficies planas. En general, estos aparatos no se fabrican para tuberías de más de 2 pulgadas.

Los medidores rotativos suelen ir equipados con contadores eléctricos digitales excitados a distancia. Poseen altas capacidades de medida y valen para toda clase de líquidos, incluso asfaltos. Trabajan a temperaturas de hasta 200°C y a presiones de cerca de 100 kp/cm², dependiendo de los materiales de que estén contruidos. Son, en general, pesados y voluminosos.

Los del tipo bomba-medidora o dosificadores se basan en un concepto algo diferente que

los anteriores. Se trata en realidad de bombas de pistón que, con un ritmo determinado, introducen un fluido en un proceso en una serie continua de impulsos o emboladas.

Pueden operar a temperaturas de hasta 90°C y presiones de 200 kp/cm². Se fabrican con capacidades de alimentación de hasta 500 litros/hora. Llevan motores de 1/3 a 1 HP.

El tipo de excitación (motor eléctrico) se presta a ser mandado fácilmente estos dispositivos, que pueden acoplarse e integrarse muy fácilmente en procesos continuos.

Existen otros tipos de caudalímetros, tales como los de orificio múltiple (fig. 15), muy adecuados para flujos bajos; así como los de fuelle, que operan sobre la base de medir la presión diferencial en una placa con orificio, tobera o tubo Venturi.

Los campos de medida típicos para un aparato de esta clase (fig. 16) son de 0 a 500 mm de c.a. y 0 a 5.000 mm de c.a., con una precisión de $\pm 0,5 \%$ y un tiempo de respuesta de 0,5 segundos.

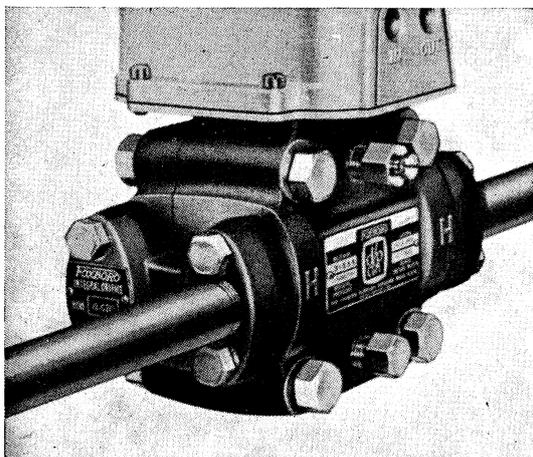


Fig. 15

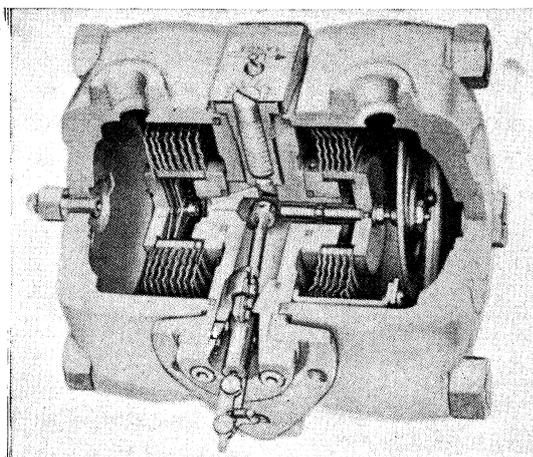


Fig. 16

Hay una enorme gama de medidores de flujo de área variable y serían necesarias centenares de páginas para describir los diversos tipos que, partiendo de rotámetro rudimentario, ha desarrollado la industria.

Todos los aparatos rotamétricos se prestan muy bien para la transmisión eléctrica de señales a distancia. Las figuras 17 y 18 muestran el elemento sensible Potter, en el cual el flujo hace girar una turbina, acoplada a un pequeño imán que, durante su rotación, excita señales en una bobina, bajo la forma de impulsos eléctricos. La frecuencia de estos impulsos es una medida lineal del flujo másico.

Pueden construirse captadores de este género para flujos desde 0,2 hasta más de 10.000 l/min y con temperaturas de trabajo desde -240° hasta 250°C. Las presiones pueden alcanzar hasta 1.000 at. La precisión suele ser de 0,1 % para flujos continuos y algo menor para flujos pulsantes.

El medidor de turbina de la figura 19 es una variante de esta clase de aparatos.

Describiremos, por último, los captadores electromagnéticos de flujo, que no poseen par-

te móvil alguna, puesto que aquí el campo magnético es el fijo y lo que actúa de bobina móvil es el propio fluido que se mide.

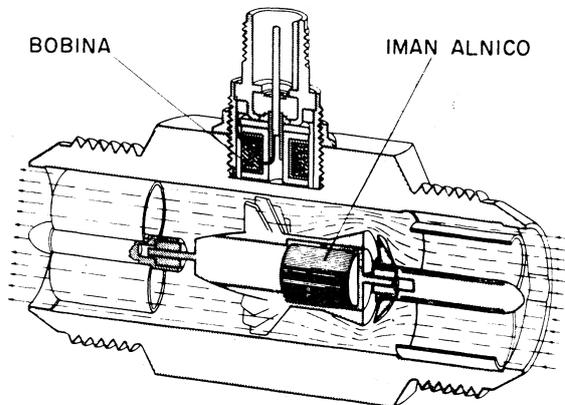


Fig. 17

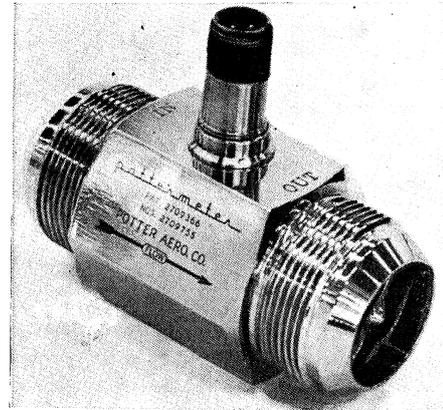


Fig. 18

Presentan la enorme ventaja de que, por no haber obstrucciones en el camino del flujo, no provocan caída de presión alguna en el aparato.

La figura 20 muestra la sección ideal de uno de estos aparatos. El campo se genera por un electroimán 2 excitado por corriente continua o alterna. El fluido móvil a través del tubo 1 genera una carga eléctrica en los electrodos 7, directamente proporcional al flujo másico. Hay un núcleo magnético 3 para enfocar el campo en dirección perpendicular al flujo, la carcasa 5 y las bridas terminales 6. La conductividad del líquido a medir debe ser de, por lo menos, 0,1 microhmios/cm.

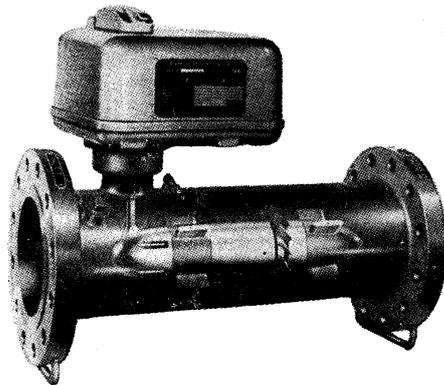


Fig. 19

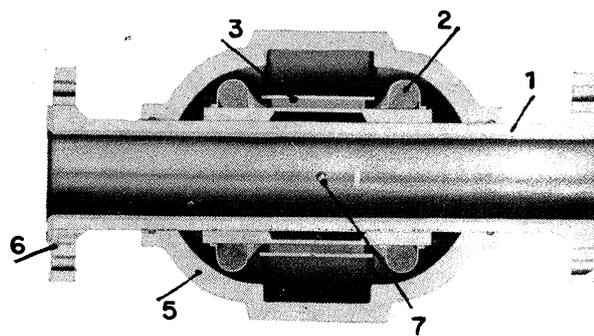


Fig. 20

La superficie interna del tubo de medida debe ir recubierta de una capa aislante, tal como teflon, neopreno, epoxi, fibra de vidrio, etc., y los electrodos van dispuestos como se indica en la figura 21.

Sirven para flujos de hasta 1 metro/segundo y se aplican a tuberías de hasta 72 pulga-

das. El margen de temperaturas va de -80° a 260°C y las presiones de trabajo pueden alcanzar los 350 kp/cm^2 .

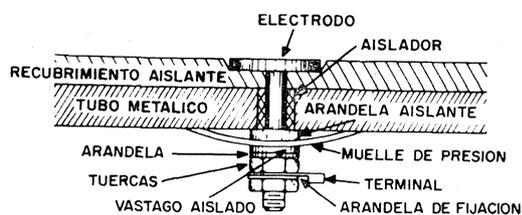


Fig. 21

En el apartado siguiente haremos alguna alusión a los medidores de caudal por medio de ultrasonidos.

II-4. Nivel y densidad

La medición de nivel de sólidos o líquidos en depósitos, con posibilidad de indicación a distancia, es otra de las operaciones en fábrica de la que no es posible prescindir. En fábricas de vía húmeda hay que añadir a los líquidos y sólidos, las papillas o pastas de viscosidad más o menos acusada.

Los sistemas de medida de nivel van desde sencillos dispositivos mecánicos —cadenas, cintas, cables y flotador— hasta los más sofisticados a base de básculas electrónicas o métodos de radiación nuclear. La tabla IV clasifica los sistemas más conocidos y empleados, indicando las características más importantes.

La figura 22 muestra una variante ingeniosa del clásico tubo de nivel, en la cual el líquido a medir está contenido en un tubo de acero inoxidable de 50 mm de diámetro.

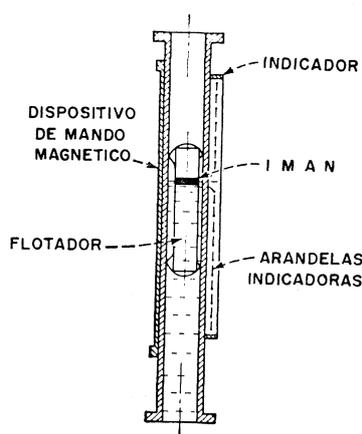


Fig. 22

Dentro del tubo hay un flotador que lleva adherido un pequeño imán permanente. Exteriormente al tubo está el dispositivo indicador formado por una serie de arandelas o láminas, espaciadas entre ejes unos 10 mm y capaces de efectuar giros de 180° . Media laminilla está pintada de amarillo y la otra media de negro.

Cuando el imán sube (o baja) arrastrado por el nivel del líquido, hace girar (magnéticamente) las arandelas para indicar lleno (negro) o vacío (amarillo).

Otros sistemas trabajan por presión hidrostática sobre un diafragma o campana, presión que es proporcional al nivel del líquido en el depósito.

El diagrama de la figura 23 puede aplicarse tanto a depósitos abiertos como cerrados (presurizados) y tiene campos de medida desde 0 a 25 m (con agua), siendo capaz de enviar señales hasta 300 m de distancia.

Se trata, en suma, de oponer a la presión de la membrana una fuerza de tipo neumático generada por la salida de aire a presión por una tobera que incide sobre una lámina flexible. El campo de medida puede abarcar una relación 10:1.

La cápsula Bailey (fig. 24) también se basa en la medida de la presión diferencial. El elemento sensible es un transformador diferencial, como el indicado en la figura 7, acoplado a una cápsula-diafragma y la salida, una vez demodulada y amplificada, es una tensión continua entre -10 y $+10$ voltios.

T A B L A I V
(Características de los sistemas de medida de nivel)

T i p o	Campo práctico		Precisión	N o t a s
	Máximo	Mínimo		
TUBOS DE NIVEL (Vidrio) Se fabrican en longitudes standard de 0,5 m (pueden empalmarse).	3,5 m.	100 mm.	0,5 mm.	Resisten presiones de hasta 170 at.
MÉTODOS HIDROSTÁTICOS Presión hidrostática.	Altura del tanque.	Depende de la sensibilidad manómetro.	1 % banda.	Para depósitos abiertos.
Tubo en U de Hg.	40 cm de c. a.	12 m de c. a.	1 % banda.	Para presiones de hasta 50 at.
Campana sobre Hg.	30 cm de c. a.	1,8 m de c. a.	1 % banda.	Presión, 250 at.
Diaphragma equilibrado.	10 cm de c. a.	25 m de c. a.	0,5 % banda.	Presión, 100 at.
Fuelles.	40 cm de c. a.	5 m de c. a.	1 % banda.	Presión, 50 at.
Burbuja de aire.	Altura del tanque.	Depende manómetro.	1 % banda.	
Balanza torsión (tubo).	30 cm de c. a.	50 cm de c. a.	0,1 % banda.	
Flotador-captador magnético.	3 m.	30 mm.	2 % banda.	Sensibilidad, 0,75 % banda.
SISTEMAS DE FLOTADOR Esfera-unión mecánica.	20 mm.	80 mm.	1-3 % banda.	
Con cadena o cinta.	10 m.	25 mm.	1-2 % banda.	
Con sensor magnético.	3 m.	10 mm.	3 mm.	
SISTEMAS NUCLEARES Para nivel fijo, todo-o-nada; simple punto.	—	—	3 mm.	Sensibilidad, 1-2 mm. Respuesta, 0,1-10 s.
Sistema continuo.	6 m.	25 mm.	0,5-1 % banda.	Sensibilidad, 2,25 mm. Respuesta, 1-60 s.
Sistema con servomotor.	no limitada.	3 m.	3 mm.	Sensibilidad, 3 mm. Respuesta, 5 s.
MEDIDORES ELECTRICOS/ ELECTRONICOS	—	2,5 mm.	2,5 mm.	Sensibilidad, 1 mm. Respuesta, 0,2 s.
Sonda de electrodos (para líquidos conductores).	—	simple punto.	2,5 mm.	Sensibilidad, 1 mm. Respuesta, 50 mS.
Capacitancia (todo-o-nada).	—	150 mm.	0,5 % banda.	Sensibilidad, 0,1 % banda. Respuesta, 500 mS.
Capacitancia, continuo.	30 m.	simple punto.	0,5 % banda.	Respuesta 20 mS.
Sónico/ultrasonico.	—	—	—	—
SISTEMAS DE BASCULA Básculas de diversos tipos.	—	tamaño del tanque.	0,1 % banda.	—

Otros aparatos basados en la acción de un flotador y que pueden trabajar en circuitos de presión, son los ilustrados en las figuras 25 y 26.

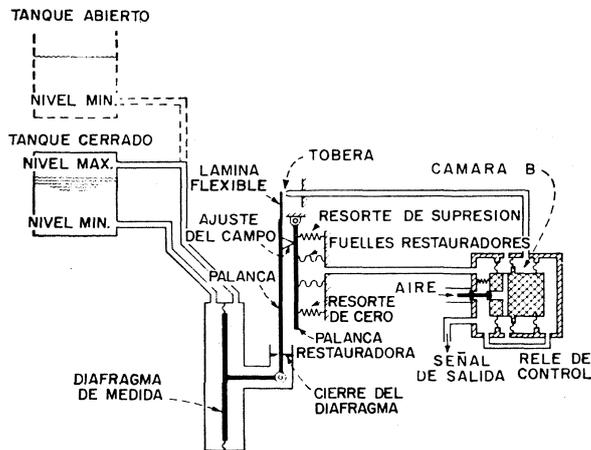


Fig. 23

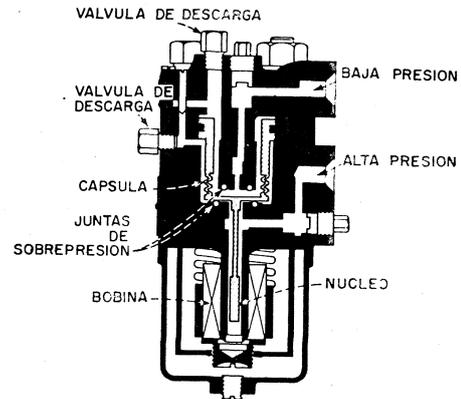


Fig. 24

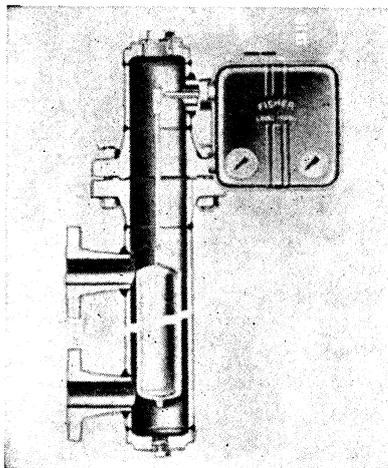


Fig. 25

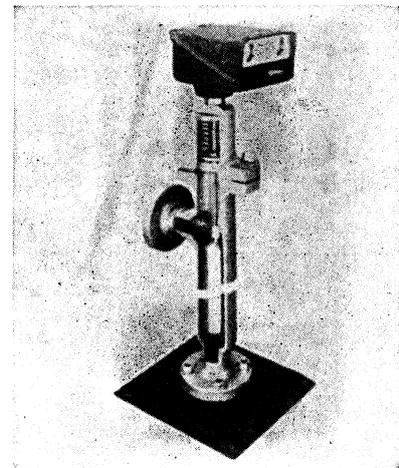


Fig. 26

Del mismo estilo son los niveles automáticos (figs. 27 y 28) combinados con circuitos relé o servomecanismos de apertura y cierre de válvulas de alimentación.

Los medidores de nivel a capacitancia eléctrica sirven para líquidos y sólidos y se basan en determinar la capacidad (eléctrica) entre dos electrodos. Uno de ellos puede ser la pared del recipiente (metálica) y el otro un electrodo de varilla aislado (teflon), que discurre de arriba abajo en el depósito, próximo a la pared lateral. El dieléctrico es, por supuesto, el sólido o líquido contenido en el depósito.

El campo de medida puede ser de hasta 30 m (altura del depósito) y la precisión en la lectura de 0,5 % de la banda empleada.

El medidor-emisor más elemental, de naturaleza eléctrica, es el representado en el esquema de la figura 29. Un flotador, un reostato, una pila y un simple amperímetro completan el equipo de medida, similar en todo a los conocidos indicadores de gasolina de los automóviles.

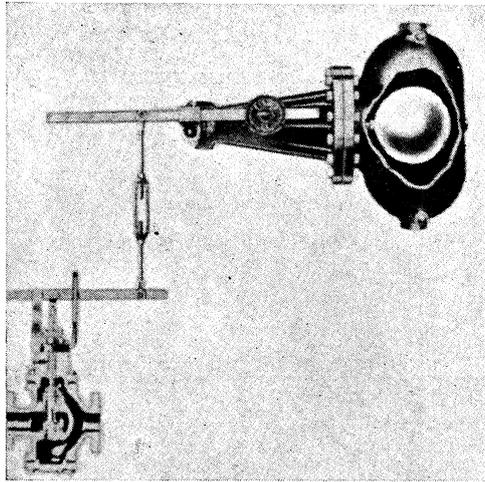


Fig. 27

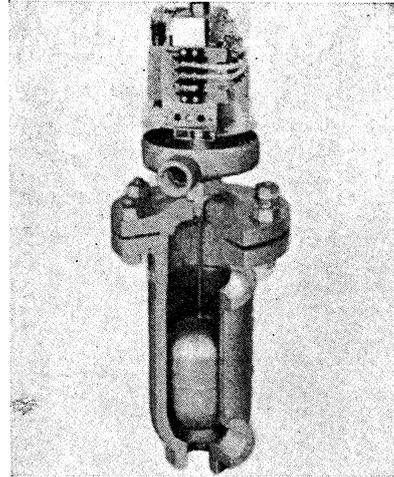


Fig. 28

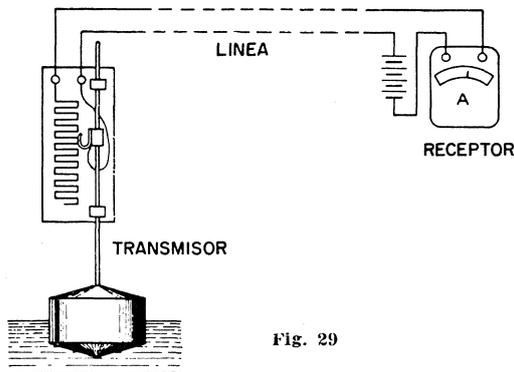


Fig. 29

Algo similar ocurre con la disposición representada en la figura 30. Aquí la alimentación se hace con corriente alterna, y el detector primario, unido mecánicamente al flotador, es similar a un transformador diferencial (como el de la fig. 7).

Un dispositivo de nivel, a base de contador de impulsos, muy adecuado para salida lógica, es el de la figura 31. El sistema de flotador y polea mueve una rueda dentada que envía impulsos a un circuito eléctrico. Es, en el fondo, como un sistema Morse de telegrafía.

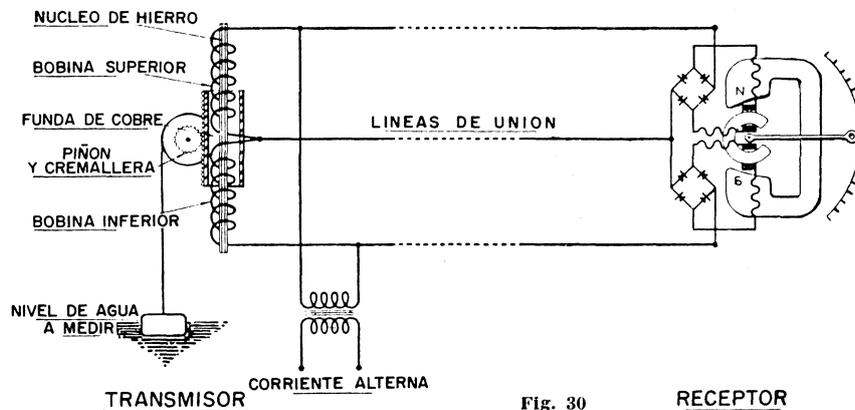


Fig. 30

RECEPTOR

Algo similar, pero más complejo desde el punto de vista electrónico, es el equipo "Bin-Dex" (fig. 32). Se compone, en esencia, de una pesa o flotador de forma piramidal, suspendida de un cable de acero que pasa por un sistema de poleas sensible al peso.

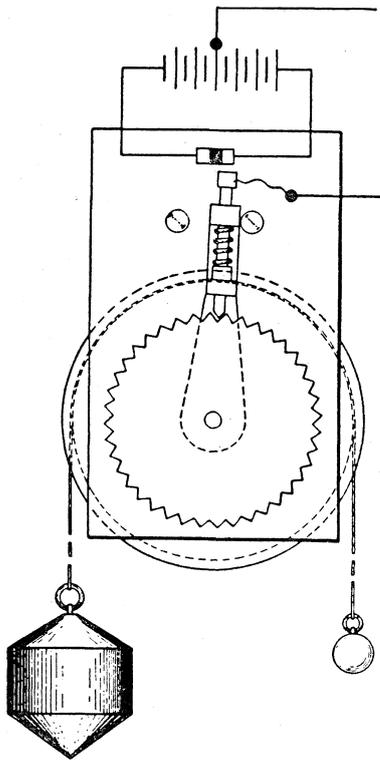


Fig. 31

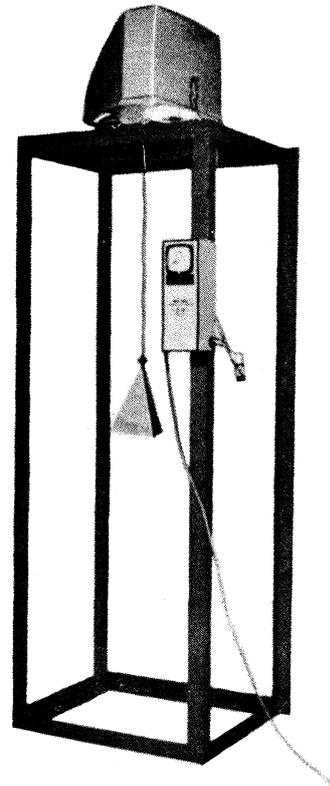


Fig. 32

La polea sensora reconoce tres pesos: 1) el cable solo; 2) cable y pesa (flotador); 3) cable, más pesa, más resistencia si el flotador está enterrado o sumergido.

El carrete del cable está impulsado por un motor reversible en la dirección determinada por la tensión del cable. Permanece estacionario en el caso 1); hace descender la pesa en el caso 2) y la eleva en el caso 3).

Hay un dispositivo de tiempos que, a intervalos que se fijan a voluntad, excita el motor de la polea para que eleve la pesa. Si está cubierta por el material (caso 3), se hará sensible el arrastre adicional. La polea se elevará fuera del material, pasándose al caso 1) ó 2). Si se trata del caso 2), la polea bajará hasta descansar sobre el material.

Se intuye inmediatamente la gran utilidad del sistema "Bin-Dex" como indicador de nivel en silos, depósitos, para controlar el peso de materiales que entren o salgan de un silo, etc. Se presta para control remoto y vale para productos, desde polvo fino hasta piedras y desde fuel-oil hasta alquitrán, pasando por papillas, pastas o suspensiones.

Los ultrasonidos son otra herramienta que ofrece grandes posibilidades para la medida, tanto de niveles (sólidos o líquidos), como de densidades (o concentración de sólidos en una suspensión).

La mayoría de los esquemas para la medida de nivel se basan en la reflexión de un eco ultrasónico. En estos casos, un solo transductor basta.

El esquema de la figura 33 es suficientemente explicativo. Los equipos electrónicos (no indicados en la figura) corresponden, con ciertas variantes, a los que integran un equipo de Sonar. La salida de estos equipos es casi siempre de naturaleza digital.

Un par de transductores colocados diagonalmente en una tubería (fig. 34) permiten determinar la velocidad de flujo (si el fluido es conocido) o la *densidad* (si la velocidad es constante o el líquido se mantiene estático). En cualquier caso, la variable a determinar es la velocidad del ultrasonido en el fluido.

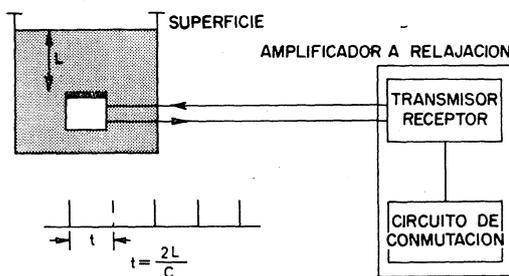


Fig. 33

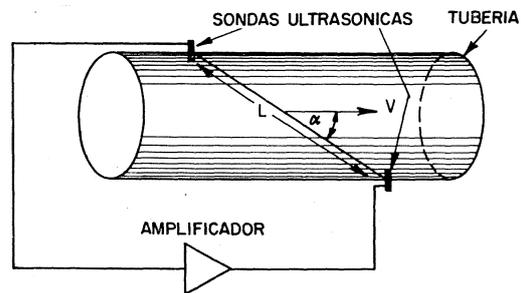


Fig. 34

Para terminar, mencionaremos algunas de las aplicaciones de los isótopos radiactivos a la medida de densidad y nivel, lo cual no quiere decir que no puedan servir para otros empleos relacionados con la metrología.

Las radiaciones de las fuentes de alta energía gamma, representadas por el Co-60, Cs-137 y Ra-226, suministran fotones cuya absorción por un medio material cualquiera es función de la masa.

En la mayoría de los casos, un detector de radiaciones se coloca diametralmente opuesto a la fuente. Los niveles radiactivos (fig. 35) muestran, esquemáticamente, dos ejemplos aplicables a medidas puntuales (izquierda) o continuas (derecha).

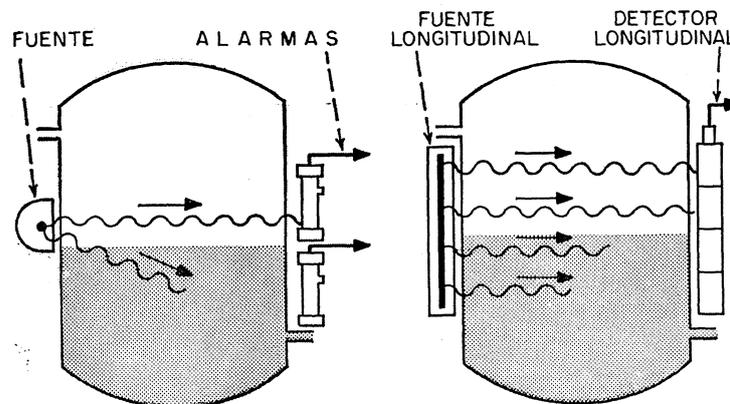


Fig. 35

El sistema es utilizable tanto en líquidos como en sólidos y pastas. Los detectores, en este caso, son del tipo todo-o-nada, puesto que de lo que se trata es de que la radiación alcance (encima del nivel) o se absorba (a través del líquido o sólido) haciéndose o no patente en el detector. Basta para ello con graduar debidamente la potencia de la fuente o la sensibilidad del detector.

En medidas de densidad o de contenido en sólidos de una pasta, el esquema fundamental es el mismo, pero el detector debe ser capaz de diferenciar, por lo menos, un 5 % de variación en la radiación recibida.

En el caso concreto de pastas o papillas, cuando se instala un medidor nuclear es preciso tener en cuenta algunas circunstancias; por ejemplo la disminución de la potencia de la fuente con el tiempo, función a su vez de la vida media del isótopo. En todo caso, hay que introducir un factor de corrección.

Por otra parte, será necesario un calibrado experimental, que dependerá, entre otras cosas, de los factores siguientes: granulometría del crudo, contenido en aire de la suspensión, estatismo o movimiento de la papilla, si el flujo es laminar o turbulento (en el caso de una tubería), temperatura, posibles cambios en la naturaleza química del sólido en suspensión y otros.

Con ciertas precauciones, el sistema es igualmente válido para la determinación continua de humedad en sólidos, empleando como fuentes radiactivas isótopos mixtos que actúen como fuente de neutrones, tales como antimonio-berilio, radio-berilio y americio-berilio.

III. CIRCUITOS O CANALES

En muchos casos, los problemas de medida no se resuelven solamente con una cuidadosa selección del emisor y del receptor. Es necesario que la información que llegue a este último sea absolutamente correcta, para lo cual, los caminos utilizados —generalmente circuitos eléctricos— deberán introducir el mínimo ruido (eléctrico) y estar desprovistos de inducciones, señales parásitas y pérdidas.

Todo ello es mucho más difícil de lo que pudiera parecer a primera vista, pues existen dos factores que atentan contra la “limpieza” de las señales que llegan al punto de recepción. Estos son, la escasa energía o nivel de las señales generadas por los captadores y la presencia, a todo lo largo de la fábrica, de circuitos eléctricos de alta intensidad, formados por las redes de energía que alimentan a los diversos aparatos.

A veces, la puesta en circuito de un simple teléfono puede inducir una señal que sea incluso superior a la medida que se está realizando. Piénsese, por ejemplo, que un termopar, sólo da unos cuantos milivoltios cuando se calienta varios centenares de grados, mientras que las intensidades que circulan por líneas que alimentan los motores de un molino pueden ascender a cientos de amperios. Las inducciones, en estas circunstancias, pueden ser notables.

Muchas veces el éxito o fracaso de un sistema de medida puede venir determinado *exclusivamente* por los circuitos de interconexión o canales.

A los efectos de una planta de cemento sólo se tienen en cuenta los canales “metálicos”, entendiéndose con esta denominación los obtenidos por medio de conductores y descartando cualquier tipo de enlace de naturaleza radioeléctrica.

Estos canales pueden ser de tensión o corriente; en continua o alterna. En el último caso, la frecuencia de las señales puede ser baja (cercana a la de la red) o alta (de 50 a

100.000 Hz). También pueden transmitirse las señales por medio de impulsos, tanto de corriente continua como alterna; con corrientes portadoras moduladas en amplitud, en fase, en frecuencia, en duración de impulsos o codificadas.

Todo ello constituye un extenso campo de estudio muy especializado en cuyo detalle no nos es posible entrar. Hemos de indicar, sin embargo, que para que la información sea lo más pura posible convendrá, de entrada, tener presentes determinadas precauciones elementales.

Así, por ejemplo, debemos procurar que el ruido debido a inducciones sea siempre inferior al 1 % del nivel absoluto de la señal. Las señales que se transmiten desde los puntos de medida a la sala de control, pueden ser analógicas o digitales.

Para las primeras se eligen conductores multifilares, de hilos trenzados, con transposiciones cada 30 cm y blindadas por parejas, con el blindaje aislado, y blindadas en su totalidad por paquetes.

Las señales lógicas se transportan por conductores macizos multipares, trenzados por parejas y blindados globalmente, con el blindaje aislado.

Estas dos clases de conductores deben ir separadas, en su recorrido, de 30 a 50 cm como mínimo y, a su vez, alejadas de cualquier línea de fuerza motriz en más de 50 cm. Si han de existir cruces entre conducciones de señales y de fuerza, éstos se harán ortogonalmente.

Las cañas o blindajes por las que se llevan los conductores deben interrumpirse cada 2 ó 3 m y cada elemento unido a un solo punto de la línea de tierra de la fábrica, teóricamente equipotencial. Esta precaución permite evitar el nacimiento, en el blindaje, de corrientes paralelas a los conductores y elimina las corrientes anulares y perpendiculares.

Las cajas de empalme deben asegurar la continuidad de los blindajes, pero conservando éstos aislados, como antes se ha dicho.

Cuando es posible emplear señales moduladas en frecuencia, o por modulación de impulsos, muchas de estas interferencias pueden obviarse fácilmente.

IV. VENTAJAS DEL ANALISIS CONTINUO

Las medidas de calidad y control en circuito continuo ofrecen tremendas ventajas potenciales a casi todas las industrias de proceso.

Conjuntamente con la toma, medida y regulación de las magnitudes físicas, tales como temperatura, presión, caudal, nivel, densidad y otras, es necesario conocer la composición química de las primeras materias y de los productos intermedios y finales, todo lo cual hace posible que el proceso pueda o no realizarse con rendimientos económicos.

Durante los últimos 10 años se ha llegado a un conjunto de factores técnicos y económicos que han obligado a la mayoría de las industrias a revisar sus procedimientos de control. La mayor rapidez de los procesos, la creciente competencia y el coste incesantemente en alza de la mano de obra, han servido para demostrar lo inadecuado de las pruebas tradicionales de laboratorio y han conducido al desarrollo del análisis y control en circuito continuo, utilizando cada vez más los ordenadores.

Pero, no conviene perder de vista que muchos de los equipos ahora programados o en estudio son de naturaleza complicada y necesitan un entretenimiento realizado por expertos en estas técnicas que, por el momento, no abundan, al menos en España.

Los “analizadores automáticos”, dando a esta expresión toda amplitud que merece, son equipos costosos, muchas veces delicados y siempre exigentes de un manejo realizado por personal debidamente entrenado, y un entretenimiento cuidadoso. Solamente así se puede garantizar su funcionamiento correcto, su precisión y su seguridad.

En muchos casos se advierte una cierta tendencia a automatizar y regular *todo* por el mero placer de hacerlo. En realidad, sólo debe automatizarse aquello que merezca serlo. Hay que huir de la *moda* establecida por algunos especialistas de aplicar controles y regulaciones en puntos que no sean absolutamente indispensables.

Una automatización en exceso, por hacer ostentación de ello, nos lleva al “límite excesivo de automatización” caracterizado por:

- a) Un incremento del riesgo de los atascos técnicos.
- b) Una dispersión de la atención del personal sobre un gran número de instrumentos, en lugar de concentrarla, con grandes ventajas, sobre los aparatos realmente importantes.
- c) La instalación se complica enormemente.
- d) Es mucho más difícil fijar el lugar de una avería o la causa que la ha originado.
- e) Una instalación automatizada puede entrar en funcionamiento verdaderamente anárquico, por fallo de un pequeño captador.

V. ELECTRONICA Y AUTOMACION

Al complicarse gradualmente los procesos industriales y escasear la mano de obra especializada, han ido creciendo la necesidad y el empleo de dispositivos capaces de vigilar, y aún decidir por sí solos, la iniciación o parada de alguna o de todas las fases del proceso.

La electrónica se presta a la consecución de tales dispositivos gracias al gran número y variedad de transductores, capaces de transformar casi todas las magnitudes que determinan los procesos de fabricación, en señales eléctricas de fácil transporte y tratamiento y, por supuesto, con inercia despreciable.

Puede asegurarse que, sin electrónica, no existe la automatización.

El impacto de la electrónica en la industria ha suscitado opiniones encontradas. En algunos sectores ha sido recibida triunfalmente, creyendo que se trataba de la “piedra filosofal”.

Los que la han recibido de este modo y estaban poco familiarizados con ella, sus posibilidades y limitaciones han sido influenciados por la literatura sensacionalista y han llegado a la conclusión de que cualquier dispositivo automático no es bueno si no es electrónico.

En el extremo opuesto, compuesto en gran parte por los desilusionados del primer grupo, se encuentran los que opinan que el equipo electrónico está sujeto a muy frecuentes fallos y averías y que es culpable de las interrupciones en el proceso de trabajo.

A los primeros puede decirseles que el éxito del empleo de la electrónica depende de muchos factores, principalmente de diseño, y que muchos procesos pueden automatizarse satisfactoriamente con otra clase de dispositivos.

Para rehabilitar a la electrónica ante los descreídos del segundo grupo, deben exponerse los factores que, en la mayoría de los casos, determinan las averías y fallos.

El equipo electrónico es un “sirviente silencioso”, pero no por ello exento de cuidados y supervisión. El operario puede detectar fácilmente el funcionamiento indebido de una máquina —un molino, por ejemplo— a ojo, a oído o por cualquier cambio producido en el ritmo normal de trabajo.

Con los equipos electrónicos no sucede lo mismo. No estimulan la atención del operario más que con pequeños factores, tal como el encendido de una bombilla, no hacen ruido ni presentan partes en movimiento que provoquen la atención y, en general, están ubicados lejos del lugar de trabajo, encerrados en armarios; en una palabra, confinados en su aislamiento y con solamente unos hilos como vínculo de su enlace al exterior.

Pero el equipo electrónico debe ser comprobado y atendido debidamente. Debe prestarse atención a sus circuitos activos —válvulas, relés, tiratrones, ignitrones, diodos, transistores, etc.— que no son eternos y requieren sustitución periódica, por ejemplo cada 5 ó 10.000 horas de trabajo (aproximadamente cada año).

Otras veces, tales equipos están trabajando en condiciones indebidas de alimentación de red, a tensión superior o inferior a la debida. Otras, soportan sobrecargas superiores a las de diseño, o trabajan en ambientes de temperatura y atmósfera indebidos.

Se ha visto, en la práctica, que la alimentación deficiente y las sobrecargas accidentales son las responsables de más de 80 % de los fallos de los equipos electrónicos.

Hay que convencerse de que el equipo electrónico es el verdadero responsable de las funciones de regulación y comando de las operaciones del proceso y, como tal, debe ser cuidado, vigilado y mimado con el máximo esmero.

* * *

No hay que ser muy optimistas para prever, para un futuro próximo, el auge de la factoría automatizada, provista de una plantilla de personal mínima.

Las consecuencias sociales que este hecho acarreará serán enormes. Estamos en los albores de una nueva revolución industrial, y corresponde a los dirigentes y técnicos superiores, facilitar y disponer las cosas de tal modo que el impacto de esta revolución acarree solamente beneficios para todos los estratos sociales.