Dpto. De Automatización y Control Industrial

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

AREA DE INSTRUMENTACION Y AUTOMATIZACION INDUSTRIALES

INSTRUMENTACION INDUSTRIAL

Instructor:

Dr. Luis Corrales

Última Revisión: Quito, Octubre del 2007

PROLOGO

Observando su enorme papel protagónico actual, puede decirse que la Instrumentación ha llegado a su madurez. De sus inicios vacilantes como simple indicadora de la actividad de los otros componentes de un sistema, ha pasado por la etapa donde demostró ser herramienta indispensable para ayudar al diseñador, al técnico de mantenimiento y al operador en sus tareas de diseño y monitoreo, respectivamente.

Hoy día, estimulada por el progreso, a veces inclemente e inhumano, que intenta automatizar todo lo posible e imposible, la Instrumentación forma parte ahora del sistema medular de una planta industrial, desde cuando ésta empieza a ser concebida hasta donde, ya convertida en realidad, la necesita para continuar normalmente con su perenne actividad.

De simple espectadora, la Instrumentación ha pasado ha convertirse en protagonista.

Es la intención del presente documento resumir las partes más relevantes, en cuanto a contenido y a terminología se refiere, de la Instrumentación Industrial.

No se pretende reemplazar la información que existe en un libro o libros, sino hacer un resumen que facilite el estudio del estudiante. Para mayor información sobre los temas, el estudiante tendrá que referirse a la bibliografía que al respecto existe. Una lista de los textos consultados se muestra al final del documento y se añadirá nuevas referencias, a medida que estas vayan apareciendo.

El contenido de este folleto, al ser la parte básica y fundamental del curso, implica que el estudiante deba leer y asimilar la totalidad de lo escrito.

El tema básicamente está orientado de la siguiente forma:

- En una primera parte se expondrán conceptos y definiciones que existen en lo que se refiere a los instrumentos; sobre todo en cuanto a la interpretación correcta de sus especificaciones, que ayuda a su acertada selección. Se hará hincapié en que el estudiante de la importancia del caso a las normas y regulaciones que rigen la nomenclatura y representación de los diferentes elementos y diagramas industriales. Tanto en clase como en el laboratorio se harán ejercicios que entrenen al futuro profesional en la selección del instrumento apropiado basado en el tipo de aplicación y las especificaciones de los mismos. Puesto que la incidencia del computador es cada vez más importante como una herramienta adicional para la medición y control de variables y/o procesos industriales, en el laboratorio se harán prácticas que preparen al estudiante a usar esta herramienta como otro instrumento de medida o de adquisición de datos.

- En una segunda parte se cubrirán los temas relacionados con los elementos finales de control con lo que se pretende cerrar y así completar el lazo de control en los procesos industriales. Nuevamente, se pondrá énfasis en el uso del computador para controlar los motores paso a paso, servomotores, servoválvulas, etc. Finalmente, se cubrirán temas industriales relacionados con la calefacción, refrigeración y acondicionamiento de aire. Un pequeño proyecto de curso permitirá al estudiante reforzar los conceptos teóricos impartidos en clase.

1.1. INTRODUCCION.

Es inconcebible poner en marcha una industria y monitorear su funcionamiento correcto posterior sin la ayuda de instrumentos. Los instrumentos se los emplea básicamente para cumplir dos propósitos:

1. medición, y
2. control.

Como medición se puede definir a todas aquellas tareas relacionadas con la función de detectar la presencia y magnitud de una variable física como la presión, el caudal, el nivel, la temperatura, el pH, la conductividad, la velocidad, la humedad, el espesor, etc. y mostrarla de una manera comprensible para el operador.

Por otro lado, en procesos industriales es necesario mantener ciertas magnitudes físicas constantes o controlarlas en base a condiciones propias a cada proceso. En estas tareas, los instrumentos de medición y control ayudan y, en no pocas veces, son los que en definitiva permiten el mantenimiento y la regulación de estas constantes, sea en forma manual o automática.

En industrias relativamente pequeñas, es posible para el operador llevar a cabo un control manual de las variables empleando instrumentos de medida simples como manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc. En un proceso complejo sin embargo, se requiere de un cierto grado de automatización en los que se debe recurrir a versiones sofisticadas de instrumentos de medida y control.

En cualquiera de los dos casos, lo que generalmente se busca es mantener las variables físicas (presión, caudal, nivel, temperatura, etc.) en:

1. Un valor deseado fijo,
2. Un valor variable con el tiempo de acuerdo a una relación predeterminada, o
3. Un valor que guarda relación con aquel de otra variable.

La medición de una variable física se hace por medio de un sensor, pero, el que al final entrega un resultado “legible” es un instrumento. Haciendo uso de elementos y técnicas especiales para convertir la información entregada por el sensor en algo entendible, un instrumento es el que se encuentra en las instalaciones industriales. Esta realidad, muchas veces toma por sorpresa al estudiante o ingeniero recién graduado que están buscando la oportunidad para realizarse aplicando sus conocimientos. En la práctica, no es posible empezar desde cero y, a partir de un sensor o transductor, intentar diseñar un instrumento. Por las presiones de mercado, en una empresa no es posible esperar a que un ingeniero intente diseñar una solución. Si la decisión es entre COMPRAR o CONSTRUIR, en un ambiente industrial se preferirá, la mayoría de las veces, lo primero. Es que por un lado:

1. Hay ahorro de tiempo valioso y,
2. No se pierde el respaldo de asesoría y servicio que existe detrás de la compra de un instrumento.

De allí que es imprescindible que el ingeniero se entrene y aprenda a interpretar correctamente las especificaciones de los equipos que vienen en los catálogos para realizar una selección correcta. Con este objetivo en mente se procede a revisar la teoría que posibilitará adquirir estos conocimientos.

1.2. DEFINICIONES.

Existe una normalización para designar los nombres de los componentes así como los principios y magnitudes que intervienen en un ambiente de instrumentación industrial. El objetivo de la normalización es lograr que tanto fabricantes como usuarios se comuniquen más eficientemente empleando un mismo lenguaje.

En cuanto a los instrumentos de medida se refiere, las definiciones que a continuación se listan recogen sugerencias emitidas por la **SAMA (Scientific Apparatus Makers Association)**, en su norma **PMC-20-2-1970**. Debe indicarse que en el caso de Ecuador, si bien el INEN es el organismo que cumple labores de regulación, no interviene o regula sobre el tipo de instrumentos que adquiere una industria. Es

más, es muy conocido que el personal de ingeniería de una planta industrial tiende a escoger instrumentos que han sido "probados" por otras compañías, sean nacionales o internacionales.

Cualquiera sea el caso, ¿cómo seleccionar un instrumento?

Al igual que los sensores y transductores, los instrumentos también poseen características tanto estáticas como dinámicas. Se podría afirmar incluso que la mayoría de los instrumentos exhibirán características determinadas por el tipo de transductor que contengan o alrededor del cual operen. Aunque es posible que con técnicas especiales, como por ejemplo las últimas técnicas de procesamiento digital de señales, un instrumento llegue a superar las limitaciones impuestas por el transductor. En la práctica, si bien es cierto, es necesario conocer la definición de una característica, es más útil saber interpretarla correctamente.

1.2.1. CARACTERISTICAS DE TRANSFERENCIA ESTATICA

Las características de transferencia estática son proporcionadas por el fabricante en un esfuerzo por dotar a un instrumento de parámetros que le permita ser evaluado cuantitativamente y de allí, comparado con otros. Esto por supuesto facilita la labor del que debe seleccionar una de entre varias opciones, pues cuenta con parámetros que expresados en forma numérica facilitan la evaluación.

Pero, ¿cómo saber cuales son los valores que se deben considerar para proceder a la selección? Primeramente se debe entender que de la lista de características de transferencia estática, la importancia relativa de cada parámetro depende del sistema o la aplicación en la que el instrumento vaya a ser empleado. Por ejemplo, puede ser muy importante que un medidor de presión destinado a la meteorología exija mejores características de histéresis antes que gran linealidad. Pero, en una situación donde las variaciones de presión son las que interesan, los papeles pueden invertirse.

Independientemente de la aplicación, para instrumentar un proceso generalmente se sigue un mismo patrón. Se tiene una variable física (flujo, temperatura, humedad, etc.) un sensor (elemento primario) para medirla, y elementos de soporte para mejorar y/o posibilitar una respuesta "legible".

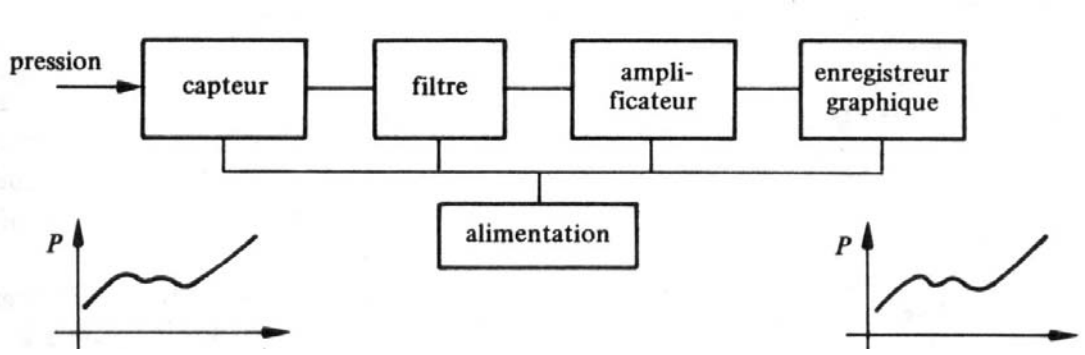


Figura 1.1. Esquematización de la medición de una variable.

El instrumento entrega su información a un operador humano o a un sistema que interpreta dicha información. Sobre la base del dato provisto se procede a tomar la acción correcta: mantener, subir o bajar el valor de la variable física medida, sea en forma manual o automática.

En este punto surge la pregunta siguiente: ¿Con qué exactitud el instrumento debería reproducir la varia ble análoga real? Para contestar la pregunta, es importante empezar indicando que mientras más exactit ud se busque, más caros y más complejos resultarán los componentes del instrumento o sistema de me dida, empezando por el sensor. Ahora, una regla básica sugiere que la exactitud buscada depende de la aplicación, aseveración que, si bien es cierta, no ayuda en forma concreta a tomar una decisión. ¿Cóm o proceder entonces? Existen fuentes más concretas de referencia y ayuda; estas son: las **normas**. Org anismos internacionales como el **IEEE, OSI, OSHA, ISA, ASHRAE, NEMA, UL**, etc., proveen normas c on procedimientos y, sobre todo, valores que pueden servir como referencia para determinar, entre otros

datos, la exactitud, rangos de trabajo, procedimientos que se requiere para diferentes aplicaciones industriales. Por ejemplo, normas industriales establecen que para equipos de aire acondicionado doméstico se acepta una precisión de ± 1 ° C en el control de la temperatura, pero para aplicaciones industriales se habla de ± 0.3 ° C.

Por todo lo expuesto, note que no es siempre una buena alternativa, al menos que la aplicación así lo exija, optar por el instrumento o sistema de medida que provea la mejor exactitud en la medida. Un instrumento más preciso necesariamente es más caro y su uso indiscriminado encarecería el costo de un proyecto.

Una vez determinada la exactitud requerida, el siguiente paso consiste en encontrar el sensor, transductor, instrumento o sistema de medida apropiado. Aquí nuevamente conviene considerar la situación siguiente: cuando se capta una variable física, es vital estar conciente que una medición no siempre se realiza bajos condiciones ideales, es importante considerar la existencia de otros factores que involuntariamente aparecen en la toma de medidas.

Un sistema de medida debe ser manejado como aquel donde a más de la señal que se desea medir (X^d) existe interferencia (X^i), como por ejemplo el ruido, que recibirá el mismo tratamiento que la variable de interés. Estas dos a su vez se verán afectadas por factores que modifican (X^m) el sistema que procesa ambas señales. Un ejemplo de un factor modificante típico es la temperatura.

Esto quiere decir que un sensor, instrumento o sistema de medida a su salida entregará una respuesta que combinará la señal deseada con las señales de interferencia y modificante.

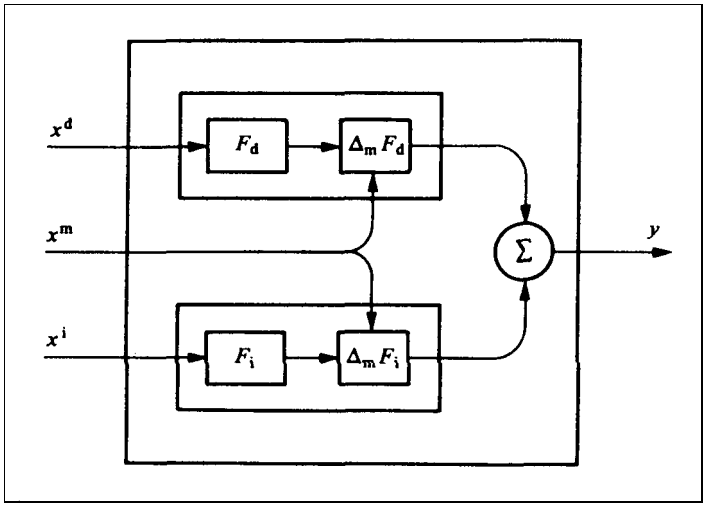


Figura 1.2. Salida de un sistema de medida: Deseada, Interferencia y Modificante.

No tomar en cuenta estos problemas, generalmente lleva a problemas que se presentan cuando el equipo ya ha sido comprado y está incluso operando, lo que dificulta o encarece su corrección.

Para la correcta interpretación de las características estáticas, debe advertirse que estas son obtenidas de la forma siguiente: todas las variables en la entrada (procurando incluir a las de interferencia y modificante) son mantenidas constantes, excepto aquella característica que se está queriendo medir. Se hace variar esta última en pasos y el valor de salida se mide luego de que ha desaparecido todo efecto transitorio (de aquí la naturaleza “estática” del parámetro). De esto resulta que una característica estática no es muy válida si no se la interpreta tomando en consideración las condiciones bajo las cuales se midió tal parámetro, en particular, deben tomarse en consideración los valores de los otros parámetros que se mantuvieron constantes. Especificaciones como la indicada a continuación deben ser tomadas muy en cuenta al leerlas en los manuales:

Accuracy (Rated @ 20°C):

0.1% FS resolution, ±1 count

A pesar de los esfuerzos por normalizar, la terminología empleada por los fabricantes no es única y pueden haber varios términos que describen una misma cosa. Los parámetros estáticos más relevantes son:

Campo de medida (range)

Espectro o conjunto de valores de la variable medida que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento; viene expresado estableciendo los dos valores extremos. Por ejemplo: el campo de medida del instrumento de temperatura de la Figura 1.3 es de 100 °C a 300 °C.

Alcance (span)

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento. En el instrumento de temperatura de la Figura 1.3, su valor es de 200 °C. Note que la diferencia entre el rango y el alcance está en la naturaleza de los valores. En el primer caso se trata de valores relativos mientras en el segundo se habla de valores absolutos.

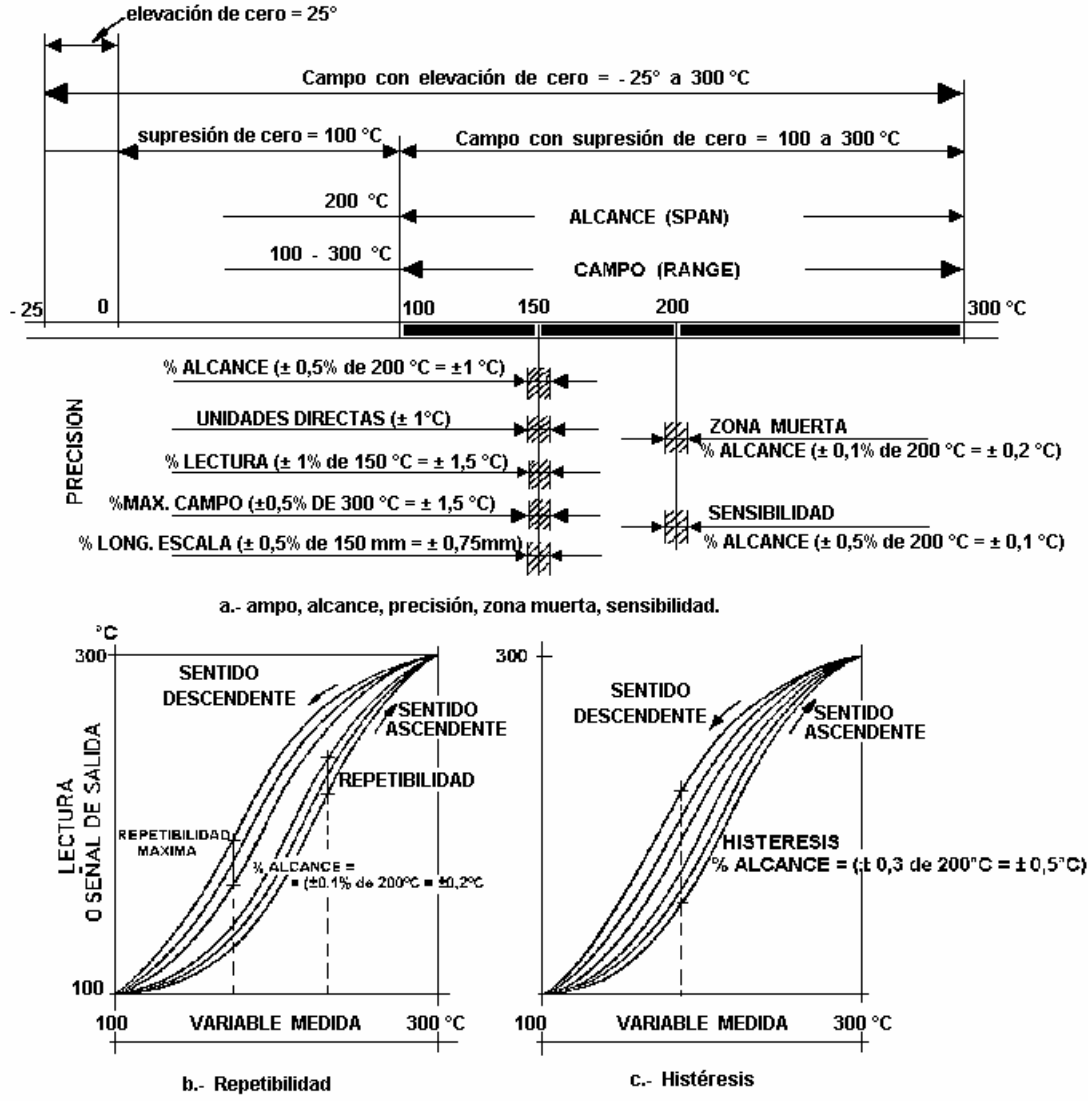


Figura 1.3. Ejemplo de parámetros estáticos de los Instrumentos.

Precisión (accuracy)

La precisión se dice que es la tolerancia de medida o de transmisión del instrumento y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio. Hay varias formas de expresar la precisión.

a. Tanto por ciento del alcance. Ejemplo: en el instrumento de la Figura 1.3, para una lectura de 150 °C y una precisión de ± 0,5% el valor real de la temperatura estará comprendido entre 150 ± 0,5 x 200/100=150 ± 1, es decir, entre 149 y 151 °C;

b. Directamente, en unidades de la variable medida. Ejemplo: Precisión de ± 1 °C;

c. Tanto por ciento de la lectura efectuada. Ejemplo: Precisión de ± 1% de 150 °C, es decir ± 1,5 °C;

d. Tanto por ciento del valor máximo del campo de medida. Ejemplo: Precisión de ± 0,5% de 300 °C = ± 1,5 °C;

e. Tanto por ciento de la longitud de la escala. Ejemplo: Si la longitud de la escala del instrumento de la Figura 1.3 es de 150 mm, la precisión de ± 0,5% representará ± 0,75 mm en la escala.

La precisión varía en la mayoría de los instrumentos en cada punto del campo de medida, si bien el fabricante la especifica: sea en todo el margen del instrumento, o indicando a veces su valor en algunas zonas de la escala. Por ejemplo: un manómetro puede tener una precisión de ± 1% en toda la escala y ± 0,5% en la zona central. Cuando se desea obtener la máxima precisión del instrumento en un punto determinado de la escala, puede calibrarse únicamente para este punto de trabajo, sin considerar los valores restantes del campo de medida. Por ejemplo: un termómetro de 0 - 150 °C y de ± 1% de precisión colocado en un baño de temperatura constante a 80 °C, puede ser calibrado en este valor, de modo que su precisión en este punto de trabajo sea la máxima.

Hay que señalar que los valores de precisión de un instrumento son proporcionados por los fabricantes de los mismos. Sin embargo, estos últimos suelen considerar también los valores de calibración en fábrica y de inspección. Por ejemplo, un instrumento que en fábrica tiene una precisión de ± 0,8% luego de su calibración, en inspección le asignan ± 0,9% y la dada al usuario es ± 1%.

Con ello se pretende tener un margen de seguridad para compensar los efectos de las diferencias de apreciación de las personas que efectúan la calibración, las diferentes precisiones de los instrumentos de medida utilizados, las posibles alteraciones debidas al desplazamiento del instrumento de un punto a otro, los efectos ambientales, el envejecimiento, etc.

Con el término precisión es necesario establecer la diferencia entre este y exactitud. La precisión es un parámetro que depende de las características “intrínsecas” de fabricación de un instrumento, como por ejemplo de su diseño, los materiales empleados, el proceso mismo de fabricación como tal, etc. La exactitud en cambio se puede decir que es de naturaleza “extrínseca” pues depende de la calibración o ajuste que un operador le de al instrumento. Dos aparatos con la misma precisión pero calibrados de diferente manera darán resultados diferentes, uno de los cuales será menos exacto que el otro. Por ejemplo, un reloj caro y preciso puede dar la hora inexacta si no fue ajustado correctamente; por el contrario, uno barato y no tan preciso, ajustado correctamente puede dar la hora exacta. Si se ha comprendido la diferencia entre preciso y exacto deberá comprender por lo tanto que un instrumento puede ser calificado como preciso pero una mediada no; ésta, por el contrario, puede ser exacta y no se debería usar el calificativo de precisa.

Repetibilidad (repeatibility)

La repetibilidad es la capacidad de reproducción de las posiciones de la pluma o del índice del instrumento al medir repetidamente valores idénticos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación, recorriendo todo el campo. Se considera en general su valor máximo

(repetibilidad máxima) y se expresa en tanto por ciento del alcance; un valor representativo es el de ± 0,1%. Nótese que el término repetibilidad no incluye la histéresis (Figura 1.3 b).

Histéresis (hysteresis)

La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el índice o la pluma del instrumento para el mismo valor cualquiera del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos: ascendente y descendente.

Se expresa en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo, si en el instrumento de la Figura 1.3.c es de ± 0,3%, su valor será de ± 0,3% de 200 °C = ± 0,6 °C. En la Figura 1.3.c pueden verse las curvas de histéresis que están dibujadas exageradamente para apreciar bien su forma. Hay que señalar que el término zona muerta está incluido dentro de la histéresis.

Zona muerta (dead zone o dead band)

Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, es decir, que no produce su respuesta. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Por ejemplo: en el instrumento de la Figura 1.3 es de ± 0,1%, es decir, de 0,1 X 200/100 = ± 0,2 °C.

Aquí el consejo práctico es analizar la forma como viene descrito un parámetro para evitar malas interpretaciones. Antes que aprender de memoria la definición teórica de un parámetro, es imprescindible interpretar correctamente las especificaciones dadas por el fabricante que podrían enmascarar ciertas debilidades o falencias del equipo.

Sensibilidad (sensitivity)

Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo. Viene dada en tanto por ciento del alcance de la medida. Si la sensibilidad del instrumento de temperatura de la Figura 1.3 es de ± 0,05%, su valor sería de:
0,05 x 200/100 = ± 0,1 °C.

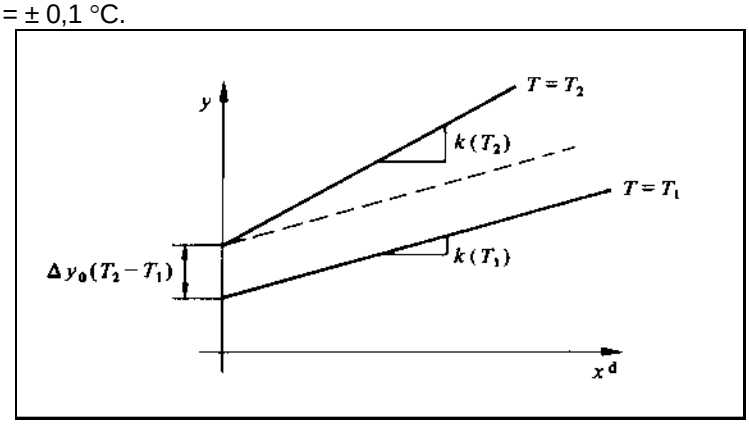


Figura 1.4. Representación de la sensibilidad

Desviación de Cero (Zero Offset)

Este parámetro es importante en aquellos sistemas que deben entregar un valor de salida teóricamente cero cuando el valor de entrada es cero. Se denomina entonces desviación de cero a aquel valor que se aleja de cero cuando la salida es realmente cero. La desviación de cero depende mayoritariamente de la temperatura.

Resolución

Se llama resolución al incremento mínimo de la variable de entrada que provoca una variación de la variable de salida. Dicho de otra forma y observando como se comporta un instrumento cuando se está determinando este parámetro, la resolución es la magnitud de los cambios en escalón de la señal de

salida (expresados en tanto por ciento de la salida de toda escala) al ir variando continuamente la medida en todo el campo. Es también el grado con que el instrumento puede discriminar valores aproximados de una cantidad.

Resolución infinita

Capacidad de proporcionar una señal de salida progresiva y continua en todo campo de trabajo del instrumento.

Linealidad

La linealidad describe el grado de concordancia entre el diagrama que representa la función de transferencia estática de un instrumento y una línea escogida como referencia. Esta puede ser la recta del error cuadrático calculado con los puntos de la respuesta estática o la recta que une los puntos más extremos del rango de medida.

Se puede cuantificar la linealidad de dos maneras:

1. Por la máxima desviación entre el valor real de la variable de salida y su valor teórico dado por la recta de referencia.
2. Por una recta que contiene los valores picos de desviación (en la Figura de la respuesta estática real.

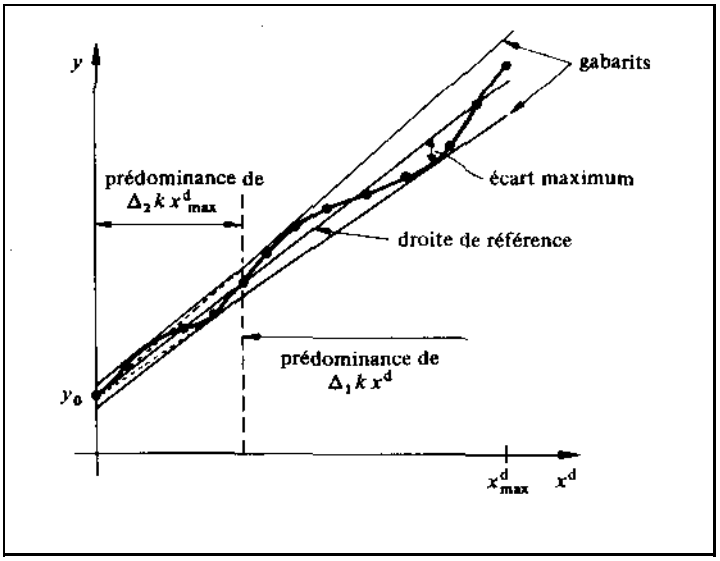


Figura 1.6. Representación de la linealidad.

1.2.2. CARACTERISTICAS DE TRANSFERENCIA DINAMICA

Se refiere al conjunto de propiedades que intenta mostrar el comportamiento de un sensor, instrumento, sistema de medida o proceso cuando es sometido a situaciones de trabajo cambiantes o reales.

Como se comprenderá fácilmente, al fabricante de un instrumento le sería costoso y prácticamente imposible reproducir todas las situaciones reales a las que un instrumento estará sometido. Por lo mismo, quedará a criterio del usuario probar un instrumento en su aplicación y determinar si este es capaz de trabajar bajo una situación real.

Pero, si de veras se requiera hacer pruebas dinámicas ¿qué implicaría para el usuario hacerlas? En la práctica, para el usuario hacer pruebas dinámicas es también muy difícil pues puede requerir intervenir con el normal desarrollo de un proceso o incluso su para, cuando es posible. La para de la producción de una planta resulta en pérdidas que pueden ser muy cuantiosas, por lo que estas pruebas resultarían también muy caras, hasta el punto de hacerlas sino imposibles al menos muy difíciles.

Se puede sin embargo recurrir a análisis teóricos basados en la modelación del sensor, instrumento o sistema de medida. Al final se busca representar el sistema bajo estudio por medio de una ecuación diferencial ordinaria de la forma:

$$a_n \frac{d^n}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + ... + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 \; y = x(t)$$

Para obtener el valor de los coeficientes, siempre que sea posible y razonablemente caro, se somete al objeto bajo estudio a formas de onda conocidas como funciones paso, rampa, impulso y senoidal.

El ideal es un instrumento de orden cero en el que su ecuación característica es:

$$a_o \; y = x(t)$$

Lo que implicaría que se tiene un instrumento lineal con una sensibilidad igual a: $k = 1 / a_0$.

Tome por ejemplo el sensor de posición potenciométrico de la Figura 1.7. En una primera aproximación este dispositivo es de orden cero, la salida, u (t), se relaciona con la variable de entrada, x(t), de la forma:

$$u(t) = \frac{u_o}{l} \; x(t)$$

Donde la sensibilidad es igual a: $k = u_o \; / \; l \quad \left[V \; / \; m\right]$.

En una segunda aproximación, sin embargo, el comportamiento del sensor puede variar. Por ejemplo, considere que el desplazamiento del cursor es muy rápido. De esta forma, al moverse el sensor afectaría la geometría del potenciómetro y, por consiguiente, el flujo magnético. Esto haría que aparezca una tensión inducida, dx / dt, dependiente de la velocidad del cursor. Este simple ejemplo trata de demostrar que una aplicación puede hacer variar el modelo matemático de un sensor y, de allí que no se puede generalizar las características de los sensores para todo tipo de aplicaciones.

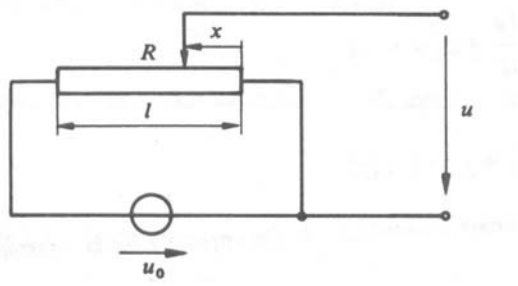


Figura 1.7. Modelo matemático de un sensor potenciométrico.

Igualmente, piense en la situación de un cliente que compra un instrumento y, para confiar en el mismo, se ve obligado a hacerle pruebas dinámicas. Una situación inadmisible tanto para el vendedor como para el usuario. Para evitar este problema, es mejor para el fabricante si vende sus instrumentos sobredimensionados y de propósito general, hasta donde sea posible. Obviamente, estas características no vienen gratis y encarecen un producto.

El fabricante entonces respalda un producto con sus características estáticas y es trabajo del usuario interpretarlas correctamente y seleccionar cuales son importantes para su aplicación. En muchos casos, en particular las compañías grandes y de prestigio, ofrecen asesoramiento al cliente para ayudarle a seleccionar correctamente un instrumento, equipo o sistema para así evitarle pérdida de tiempo y dinero.

Es usual entonces encontrar en los manuales respectivos grandes cantidades de datos que incluso suelen pasar desapercibidos. Es primordial leer estos datos e interpretarlos adecuadamente.

Otros términos

Otros términos empleados en las especificaciones de los instrumentos son los siguientes:

Campo de medida con elevación de cero

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es mayor que el valor inferior del campo.

Campo de medida con supresión de cero

Es aquel campo de medida en el que el valor cero de la variable o señal medida es menor que el valor inferior del campo.

Elevación de cero

Es la cantidad con que el valor cero de la variable supera el valor inferior del campo. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

Deriva

Es una variación en la señal de salida que se presenta en un período de tiempo determinado mientras se mantienen constantes la variable medida y todas las condiciones ambientales. Se suelen considerar la deriva de cero (variación en la señal de salida para el valor cero de la medida atribuible a cualquier causa interna) y la deriva térmica de cero (variación en la señal de salida a medida cero, debida a los efectos únicos de la temperatura). La deriva está expresada usualmente en porcentaje de la señal de salida de la escala total a la temperatura ambiente, por unidad, o por intervalo de variación de la temperatura. Por ejemplo, la deriva térmica de cero de un instrumento en condiciones de temperatura ambiente durante 1 mes fue de 0,2% del alcance.

Fiabilidad

Medida de la probabilidad de que un instrumento continúe comportándose dentro de límites especificados de error a lo largo de un tiempo determinado y bajo condiciones especificadas.

Ruido

Cualquier perturbación eléctrica o señal accidental no deseadas que modifica la transmisión, indicación o registro de los datos deseados.

Linealidad

La aproximación de una curva de calibración a una línea recta especificada.

Linealidad basada en puntos

Falta de linealidad expresada en forma de desviación máxima con relación a una línea recta que pasa a través de los puntos dados correspondientes al cero y al 100% de la variable medida.

Estabilidad

Capacidad de un instrumento para mantener su comportamiento durante su vida útil y de almacenamiento especificadas.

Temperatura de servicio

Campo de temperaturas en el cual se espera que trabaje el instrumento dentro de límites de error especificados.

Vida útil de servicio

Tiempo mínimo especificado durante el cual se aplican las características de servicio continuo e intermitente del instrumento sin que se presenten cambios en su comportamiento más allá de tolerancias especificadas.

Reproductibilidad

Capacidad de reproducción de un instrumento de las medidas repetitivas de la lectura o señal de salida para el mismo valor de la variable medida alcanzado en ambos sentidos, en las mismas condiciones de servicio y a lo largo de un período de tiempo determinado. Por ejemplo, un valor representativo sería ± 0,2% del alcance de la lectura o señal de salida a lo largo de un período de 30 días.

Respuesta de frecuencia

Variación con la frecuencia de la relación de amplitudes señal de salida/variable medida cuando se aplica una señal senoidal a un instrumento dentro de un campo establecido de frecuencias de la variable medida. Se especifica usualmente como (dentro de ± ... % de ... a ... Hz).

1.3. CLASES DE INSTRUMENTOS

Los instrumentos de medición y de control son relativamente complejos y su función puede comprenderse bien si están incluidos dentro de una clasificación adecuada. Como es lógico, pueden existir varias formas para clasificar los instrumentos, cada una de ellas con sus propias ventajas y limitaciones. Se considerarán dos clasificaciones básicas: la primera relacionada con la función del instrumento y la segunda con la variable del proceso.

1.3.1. EN FUNCIÓN DEL INSTRUMENTO.

De acuerdo con la función del instrumento, estos se clasifican de la forma que se indica a continuación. Puesto que las especificaciones de los mismos es muy amplia y tiende a variar en forma y contenido con el fabricante del producto, se harán ejercicios para que se aprenda a interpretarlas correctamente.

Instrumentos ciegos

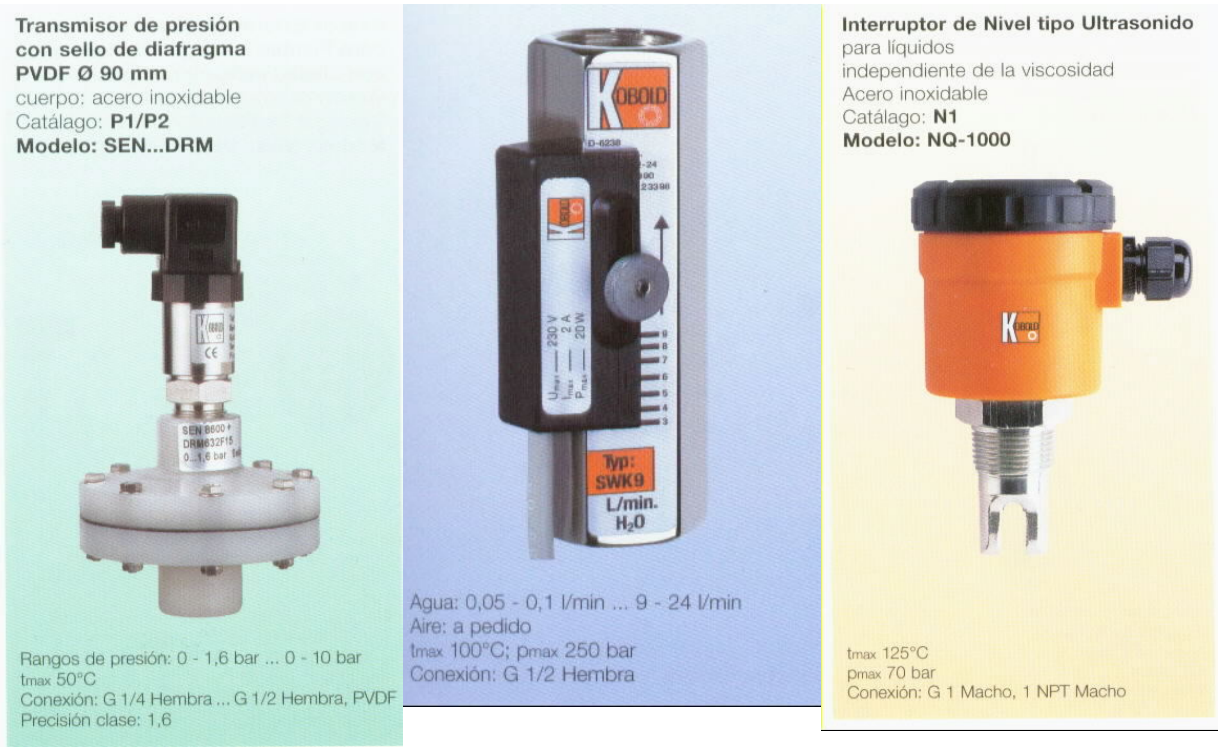


Figura 1.8. Instrumentos ciegos.

Son aquellos (Figura 1.8) que no tienen indicación visible de la variable, de allí su apelativo de ciegos. Son ciegos los instrumentos de alarma, tales como presostatos y termostatos (interruptores de presión y temperatura respectivamente) que poseen una escala exterior con un índice para seleccionar el valor de la variable al que se producirá el disparo del interruptor o conmutador. Son también instrumentos ciegos, los transmisores **sin indicación** de caudal, presión, nivel, temperatura, etc.

Instrumentos indicadores

Son los que disponen de un indicador y de una escala graduada en la que puede leerse el valor instantáneo de la variable. Según la amplitud de la escala se dividen en indicadores concéntricos y excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica con dígitos.

Manómetro con sello de diafragma
PVDF Ø 90 mm
cuerpo: acero inoxidable
Catálago: **P1**
Modelo: MAN-RD...DRM

Rangos de presión: 0 - 1,6 bar ... 0 - 16 bar
Diámetro del cuerpo: 63 mm
t_{max} 50°C
Conexión: G 1/4 Hembra ... G 1/2 Hembra, PVDF
Precisión clase: 1,6

Medidor/Interruptor Metálico
tipo Área Variable
para bajo caudal
Indicación local, interruptores de límite, salida analógica
Acero inoxidable
Catálogo: **S1**
Modelo: KMI

Agua: 0,1 - 1 l/h ... 25 - 250 l/h
Aire: 4,5 - 45 Nl/h ... 800 - 8000 Nl/h
t_{max} 150°C; p_{max} 160 bar
Conexión:
G 1/4, G 3/8, 1/4 NPT, 3/8 NPT Hembra
Precisión Clase: 4

Manómetro Digital a batería
con sello de diafragma
PVDF Ø 90 mm
cuerpo: PA
Catálago: **P1**
Modelo: MAN-SD...DRM

Rangos de presión: 0 - 1,6 bar ... 0 - 16 bar
Diámetro del cuerpo: 74 mm
t_{max} 50°C
Conexión: G 1/4 Hembra ... G 1/2 Hembra, PVDF
Precisión clase: 1,6

Figura 1.9. Instrumentos Indicadores.

Instrumentos registradores.

Estos registran con trazo continuo o con puntos sobre un papel especial el valor de la variable. Pueden ser circulares o de gráfico rectangular o alargado según sea la forma del gráfico. Los registradores son ideales para proponerse diseños basados en computadoras por la facilidad que estas ofrecen para el almacenamiento de la información.

Figura 1.10. Instrumentos Registradores.

Los registradores de gráfico circular suelen tener el gráfico de 1 revolución en 24 horas mientras que en los de gráfico rectangular la velocidad normal del gráfico es de unos 20 mm/hora.

Elementos primarios.

Así se denominan a los dispositivos que entran en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación del valor de la variable que se desea medir. Aquí se encuadran los sensores y transductores capaces de detectar y medir un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica, etc. Como ejemplo de elementos primarios se tiene a: las galgas, los termopares, los RTDS, etc.

Las especificaciones de los instrumentos suelen ser complejas y se las debe interpretar correctamente. En la figura a continuación se muestra un ejemplo típico.

Flujómetro Transport

El medidor de flujo para líquidos PT878 es un sistema de medición de flujo ultrasónico portátil completo con opciones y accesorios para cubrir todas sus necesidades de medición de fluidos.

El flujómetro Transport es pequeño, liviano y fácil de usar. Su amplia pantalla LCD muestra la velocidad, razones de flujo volumétrico y de energía y flujos totalizados y datos de tendencias en formato alfanumérico y gráfico. Una batería recargable con un cargador de suministro de energía universal completa el paquete y hace de esta unidad un flujómetro ideal para ir a cualquier lado.

Especificaciones Generales

Hardware:
Un solo canal

Dimensiones:
Tamaño : 9.4x 5.5 x 1.5 in (238x 138 x 38 mm).
Peso : 3 libras (1.36 Kg)

Cubierta:
Sumergible IP67

Precisión de la medida de flujo con transductores acoplados (Clamp-On) (Velocidad):

+/-1% de la lectura (+/- 0.5% de la lectura con calibración).

Rango:
+/- 0.33 m/s < V < 12.2 m/s

Repetibilidad:

Transductores Clamp-On:
+/-0.1 a 0.3% de la lectura

Tipos de Fluído :

Fluídos conductivos acústicamente, incluyendo la mayoría de fluído limpios y muchos con sólidos arrastrados o burbujas de gas.

Figura 1.11. Elementos Primarios.

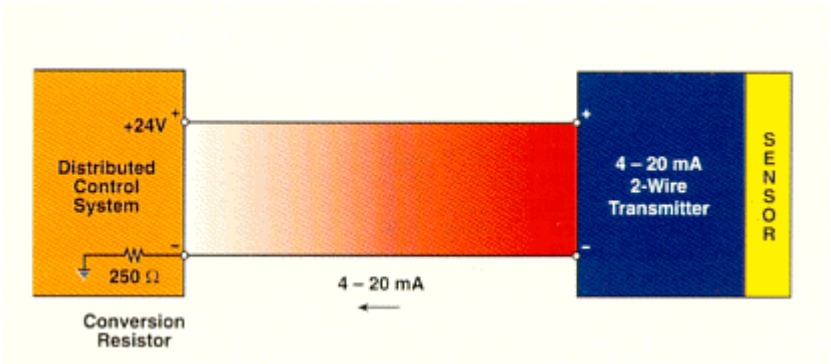
Transmisores.

Son los instrumentos más conocidos de la industria pues captan la variable de proceso a través del elemento primario y la trasmiten a distancia en forma de señal neumática que varía de 3 a 15 psi (libras por pulgada cuadrada) o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua.

Esta capacidad de transmisión a gran distancia los vuelve muy útiles en los procesos industriales que requieren llevar la información a cuartos o paneles de control situados a distancias relativamente grandes.

La señal neumática de 3 a 15 psi equivale a 0,206 - 1,033 bar (0,21 - 1,05 kg/cm^2) por lo cual, también se emplea la señal en unidades métricas 0,2 a 1 bar (0,2 a 1 kg/cm^2).

También se emplean señales electrónicas de 1 a 5 mA c.c., de 10 a 50 mA c.c. y de 0 a 20 mA cc., si bien la norma señala que debe ser de 4-20 mA c.c. Es posible también emplear transmisores que entregan una señal digital lista para ser ingresada en un computador.



En la figura se muestra un ejemplo de especificaciones típicas de un transmisor.

Transmisores para aplicaciones de gran demanda.

TX1500 Series

Isolated 4 to 20 mA Transmitters For Demanding Applications, Thermocouples, RTD or Ohms, Millivolts,Milliamps and Volts

$ 325.00

TX1502A-J

- **Isolated to 1500 V rms**
- **Two-Wire 4 to 20 mA Operation**
- **9-50 V Compliance**
- **Turndown Ratio to 10:1**
- **NMV Protection to 120 Vac**
- **-40 to +85°C (-40 to 185°F) Operation**
- **Shock Resistance to 55 g**
- **NEMA-4X Metal Case**
- **Field-Scalable**

Unmatched Electrical Performance

Two-wire Operation Power is obtained directly from the 4 to 20 mA loop, with no need for separate power input. This simplifies field wiring and eliminates the possibility of noise pickup from power lines.

Isolation to 1500 V rms (2100 Vp)

This exceptionally high CMV rating from the input to the case or output eliminates the possibility of electrical ground loops between the signal source and the receiver. It also provides a high degree of protection for the receiver against electrical

Figura 1.12. Transmisores.

El elemento primario puede ser o no parte integral del transmisor. Tal es así que en la práctica es común que el operador ignore el tipo de sensor o transductor que emplea un determinado transmisor.

Transductores

Se denomina así a los sensores que reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten, modificada o no, a una señal eléctrica de salida.

Son transductores, un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad). Algunos autores sin embargo consideran transductor a un sensor que toma una variable física y entrega una señal cualquiera de salida, por ejemplo, un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc.

En el curso presente se denominará transductor a aquel que entrega una señal eléctrica a la salida.

Medidor de nivel Capacitivo por el principio Hidrostático
Membrana cerámica con frente lavable
Salida: 4...20 mA
acero inoxidable, cerámica Al_2O_3
Catálago: **L1**
Modelo: LPC

konform

Rango de medición:
0 - 100 m columna de agua
t_{max} 100°C (opcional 150°C)
Conexión: G 1, conexión sanitaria
Precisión: ≤0,1% of F.S.

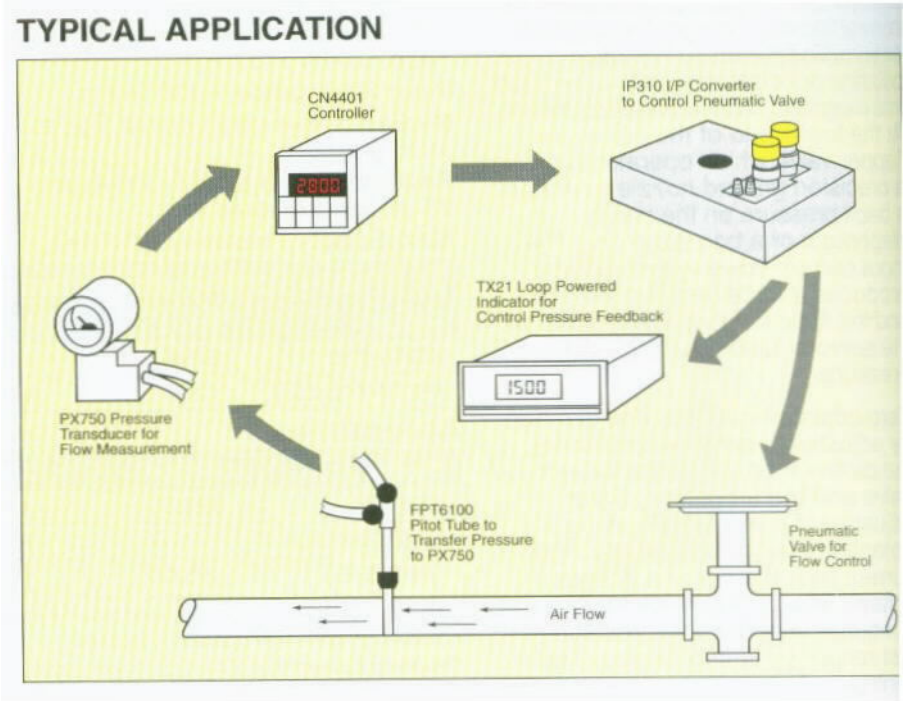
Sondas de profundidad
Medición de nivel en pozos, reservas de agua o reservorios profundos sensor
Ø 28 mm de acero inoxidable
cable de poliuretano
Catálago: **N2**
Modelo: NTB

Max. largo cable: 200 m
Rango de medición:
0 ... 200 m columna de agua
Salida: 4 ... 20 mA dos cables
con protección contra descargas atmosféricas

Figura 1.13. Transductores.

Convertidores.

Son aparatos que reciben una señal de entrada neumática (3-15 psi) o electrónica (4-20 mA c.c.) procedente de un transmisor y después de modificarla envían la resultante en forma de otra señal de salida también estándar.



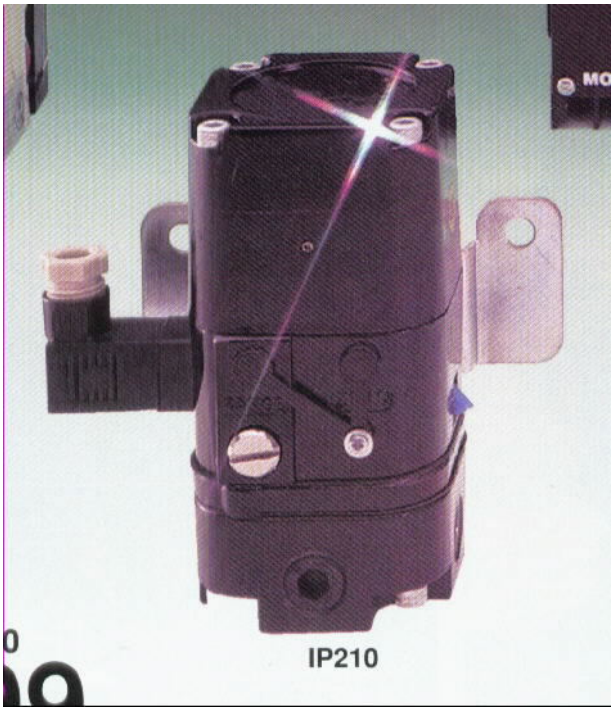


Figura 1.14. Convertidores.

Ejemplo: un convertidor P/I (recibe una señal de entrada neumática normalizada y entrega una señal de salida electrónica también normalizada, un convertidor I/P (señal de entrada eléctrica a señal de salida neumática).

Conviene señalar que a veces se confunde convertidor con transductor. Este último término es general y no debe aplicarse a un aparato que convierte las señales normalizadas entregadas por otros instrumentos.

Receptores.

Reciben las señales procedentes de los transmisores y las muestran en indicadores o registran. Un tipo especial de estos receptores, los receptores controladores, incluso envían una señal de salida normalizada (sea: 3-15 psi en señal neumática, o 4-20 mA c.c. en señal electrónica) hacia un elemento final de control.

Controladores.

Estos instrumentos comparan la variable controlada (presión, nivel, temperatura) con un valor deseado y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación. Generalmente obedecen a un algoritmo para decidir sobre la acción que deben tomar.

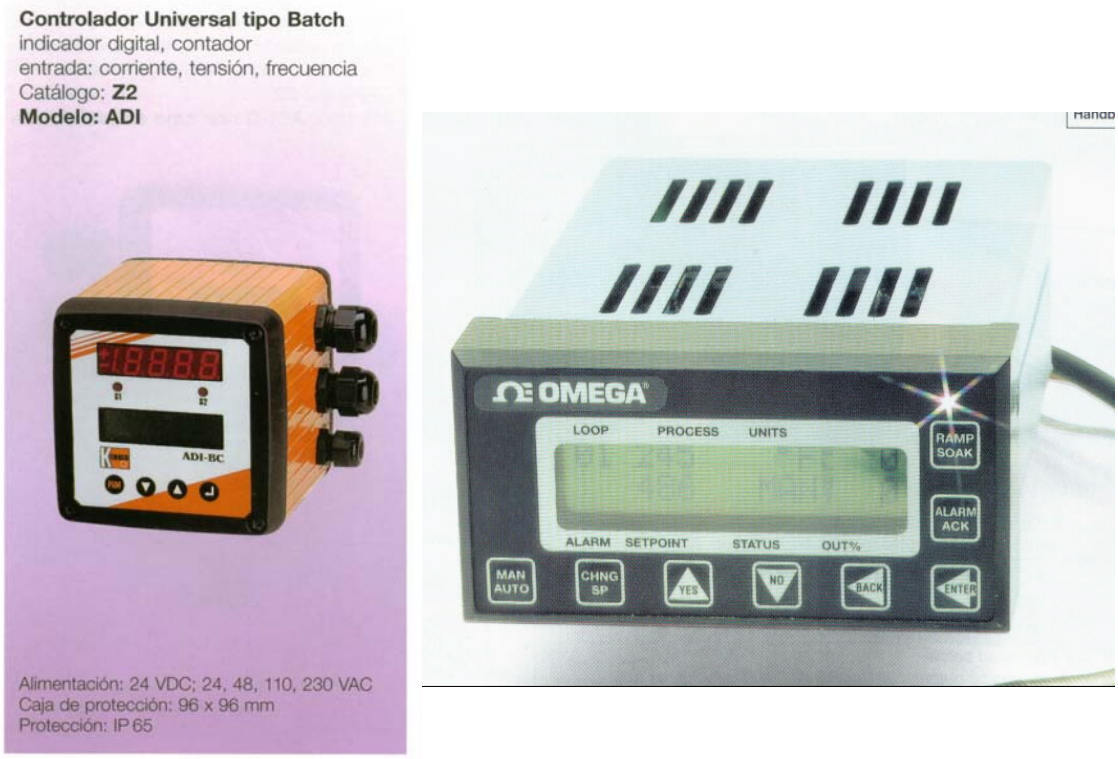


Figura 1.15. Controladores.

La variable controlada la pueden recibir directamente como controladores locales, o bien indirectamente en forma de señal neumática, electrónica o digital procedente de un transmisor.

Elemento final de control.

Figura 1.16. Elemento Final de Control.

Es el dispositivo que recibe la señal del controlador por medio del actuador y modifica de alguna forma a la variable controlada para mantenerla en su valor.

En el control neumático, el elemento final suele ser por ejemplo una válvula neumática manejada por un servomotor neumático que efectúan su carrera completa al recibir una señal neumática de 3 a 15 psi (0,2 - 1 bar). En el control electrónico la válvula es accionada a través de un convertidor (I/P) que convierte la señal electrónica de 4 a 20 mA c.c a presión. Puede también tenerse una señal digital que se convierta a una señal neumática 3-15 psi. En el control eléctrico el actuador suele ser un servomotor eléctrico que actúa por ejemplo sobre una válvula.

En control electrónico y, en particular, en regulación de temperatura de hornos pueden utilizarse tiristores. Estos se comportan esencialmente como bobinas de impedancia variable y varían la corriente de alimentación de las resistencias del horno, en la misma forma en que una válvula de control cambia el caudal de fluido en una tubería.

Las señales neumáticas (3 - 15 psi o 0,2 - 1 bar o 0,2 - 1 kg/cm^2) y electrónica (4-20 mA c.c.) permiten el intercambio entre instrumentos de la planta. No ocurre así en los instrumentos de señal de salida digital (sean transmisores, controladores) donde las señales se entregan según el protocolo adoptado por cada suministrador. No obstante, existe el propósito de normalización, en particular en los sistemas de control distribuido, por parte de firmas fabricantes de instrumentos de control (Bailey, Foxboro, Honeywell, Rosemount y otros) que estudian la aplicación de un lenguaje o protocolo de comunicaciones, el MAP (Manufacturing Automation Protocol), desarrollado inicialmente en 1970 para la automatización de una fábrica de automóviles de General Motors, y que permitirá la interconexión de equipos digitales de distintos fabricantes. El protocolo MAP aplicado al control de procesos debe cumplir con las características de señal de 4 - 20 mA c.c. y alimentación a los instrumentos a través del mismo par de hilos. Existe un comité internacional de normas IEC-65C que recibe la colaboración de los comités ISA SP50, ISA SP72 y EUREKA, y que trabajan también en el campo de la normalización de las comunicaciones digitales entre los instrumentos de campo y los sistemas de control.

1.3.2. EN FUNCIÓN DE LA VARIABLE DE PROCESO.

De acuerdo con la variable del proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de:

- caudal,
- nivel,
- presión,
- temperatura,
- densidad y peso específico,
- humedad y punto de rocío,
- viscosidad,
- posición,
- velocidad,
- pH,
- conductividad,
- frecuencia,
- fuerza,
- turbidez, etc.

Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas, siendo independiente del sistema empleado en la conversión de la señal de proceso. De este modo, un transmisor neumático de temperatura del tipo de bulbo y capilar, es un instrumento de temperatura a pesar de que la medida se efectúa convirtiendo las variaciones de presión del fluido que llena el bulbo y el capilar. El aparato receptor de la señal neumática del transmisor anterior es un instrumento de temperatura, si bien, al ser receptor neumático se lo podría considerar instrumento de presión, caudal, nivel o cualquier otra variable, según fuera la señal medida por el transmisor correspondiente. Un registrador potenciométrico puede ser un instrumento de temperatura, de conductividad o de velocidad, según sean las señales medidas por los elementos primarios de termopar, electrodos o dínamo.

Asimismo, esta clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el elemento primario y el instrumento final. Por eemplo, en el caso de un trasmisor electrónico de nivel de 4 a 20 mA c.c., un receptor controlador con salida de 4 - 20 mA c.c., un convertidor intensidad-presión (I/P) que transforma la señal de 4-20 mA c.c. a neumática de 3 - 15 psi y la válvula neumática de control; todos estos instrumentos se consideran de nivel.

En la práctica, en la designación del instrumento se utiliza las dos clasificaciones expuestas anteriormente. De este modo se habla de transmisores ciegos de presión, controladores registradores de temperatura, receptores indicadores de nivel, receptores controladores registradores de caudal, etc.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que un instrumento es parte de una planta o proceso industrial, lo que significa que a más de su correcta selección hay que determinar donde se le ubica (en el campo o en el cuarto de control) y en que parte o partes del proceso se debe medir una variable. Como se comprenderá, no se debería, a riesgo de encarecer la instrumentación, medir todo y en todo momento. Es tarea del ingeniero, con mayor razón si es el diseñador, decidir sobre: qué variables medir, donde medir y con que precisión deben realizarse las medidas.

Esta decisión dependerá del tipo de proceso que se quiera instrumentar. Para que se tenga un conocimiento más completo, cabe indicar que los procesos industriales pueden dividirse en dos categorías muy amplias:

1. procesos continuos, y
2. procesos discontinuos.

Los procesos son continuos cuando, en el tiempo, continuamente requieren de un monitoreo y control de sus variables de interés. Son discontinuos cuando exigen tan solo de chequeos discretos en el tiempo.

Idealmente, un sistema de control que permita el mantenimiento de las variables puede definirse como aquel que compara el valor de la variable o condición a controlar con un valor deseado y toma una decisión de corrección, en contraposición a la desviación existente, sin que intervenga el operador. Con este propósito, se puede deducir que es imprescindible que exista:

1. un dispositivo de medida,
2. un dispositivo de control,
3. un elemento final de control, y
4. el propio proceso.

Este conjunto de entidades o subsistemas forman un **Lazo de Control**. El lazo puede ser abierto (Figura 1.17) o cerrado (Figura 1.18).

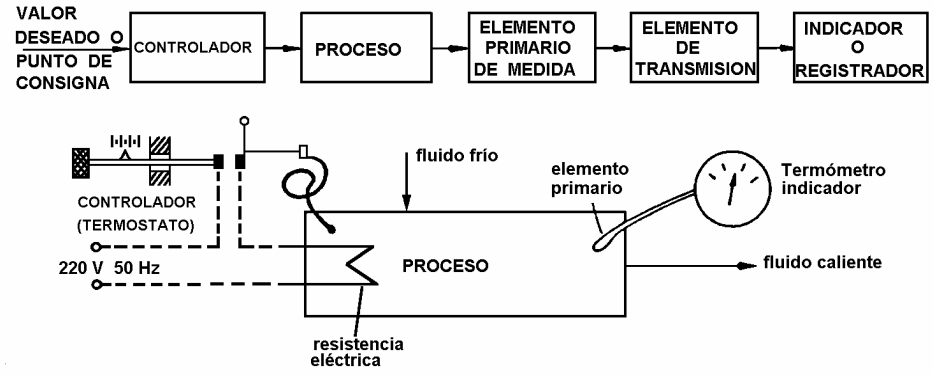


Figura 1.17. Lazo de Control Abierto.

Un ejemplo típico de un sistema de control de lazo abierto es el de un sistema de calentamiento de agua. El ejemplo de la Figura 1.18 calienta el líquido en un tanque por medio de una resistencia eléctrica sumergida.

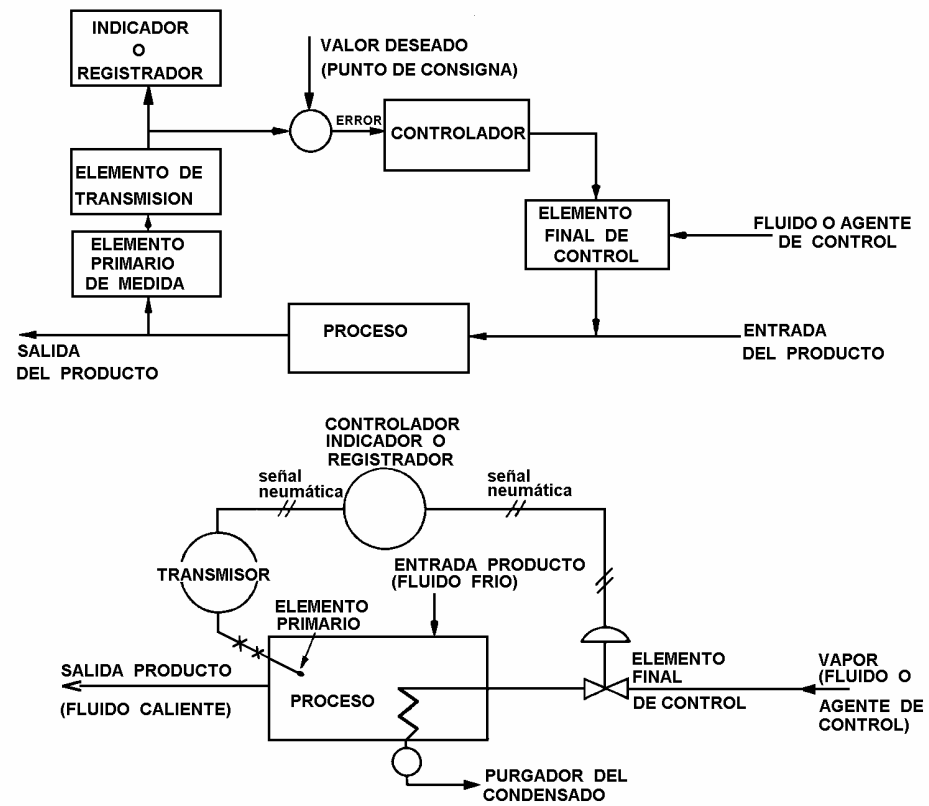


Figura 1.18. Lazo de Control Cerrado.

Un ejemplo típico de un sistema de lazo cerrado es el de la regulación de temperatura en un intercambiador de calor.

Es un buen ejercicio discutir en los ejemplos dados sobre qué y dónde poner los instrumentos de medida.