

Capítulo 1

Conceptos Básicos de Control

A lo largo de la historia el hombre se ha sentido fascinado por maquinarias y dispositivos capaces de imitar las funciones y movimiento de los seres vivos.

En la era contemporánea la producción industrial se ha caracterizado principalmente por la optimización de los procesos empleando avances tecnológicos de la comunicación y el control a fin de lograr productos a bajo costo y alta calidad, capaces de cumplir con los estándares exigidos por el mercado.

Las diversas formas de automatizar los procesos y servicios se realizan a través del uso de sensores, controladores y actuadores facilitando la producción y minimizando los recursos humanos.

La tecnología actual permite supervisar y controlar diversas industrias del tipo productivo o manufacturero en tiempo real. En nuestro país el control y la automatización a través de la electrónica han experimentado un cambio importante en la mayoría de las industrias, para ampliar y mantener su posición en los respectivos campos de acción.

Control Automático

Se entiende por control automático, el mantener estable una variable de proceso mediante un dispositivo, por lo general electrónico, cuyo valor deseado está almacenado en la memoria de éste y al recibir la señal de la variable controlada realiza los cálculos y estima la acción sobre la variable manipulada, corrigiendo y estabilizando el sistema de control.

Este dispositivo eléctrico conocido como controlador, se encuentra en el mercado bajo la denominación de PLC (Controlador Lógico Programable), controlador de lazo digital (microcontrolador) y PC (computadora personal).

Sistemas de Control

Para mostrar de una manera más fácil un sistema de control (figura 1) se tomará como ejemplo un proceso típico de intercambio de calor.

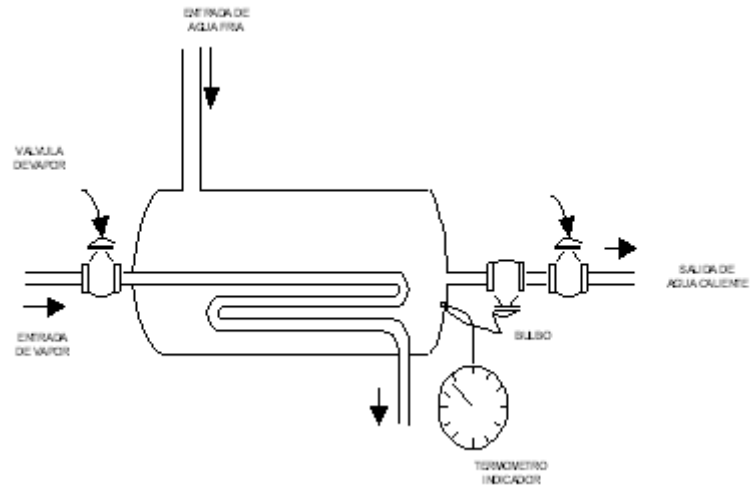


Figura 1 – Intercambiador de Calor

Si el Intercambiador de Calor (proceso), fuese manejado solamente por un hombre; sería como se detalla en la figura 2.

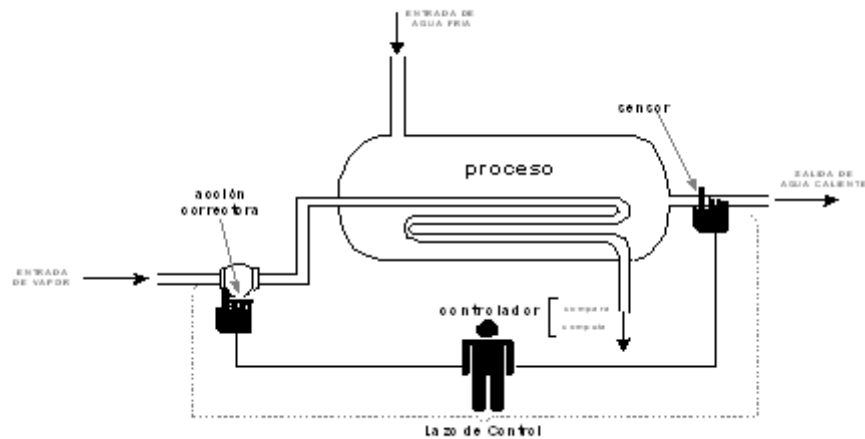


Figura 2 – Control de un Intercambiador de Calor por una Persona

Al analizar el control manual de la figura 2, donde el operador mide la temperatura de salida, compara el valor deseado, calcula cuanto más abrirá la

válvula de vapor y hace las correcciones correspondientes; así las funciones básicas del control manual realizado por un ser humano son:

- Medir
- Comparar
- Calcular
- Corregir

Luego los fundamentos de un sistema de control automático deben de provenir de las funciones básicas del control manual realizadas por un ser humano.

Elementos de un Sistema de Control

Un sistema de control automático simple, generalmente cuenta con los siguientes elementos: sensor, proceso, controlador y actuador (figura 3).

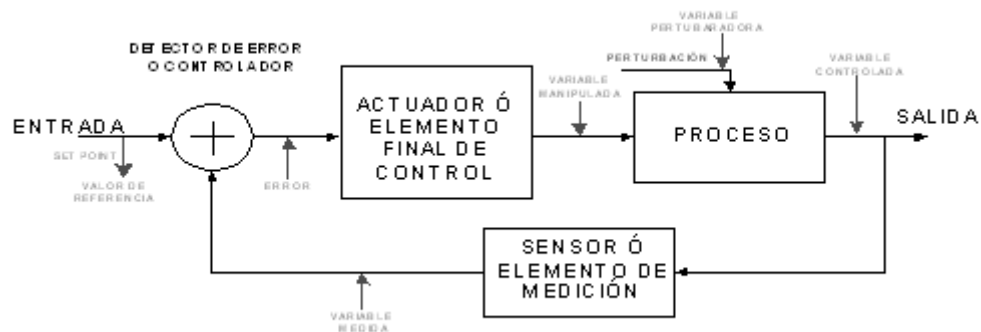


Figura 3 – Diagrama de Bloques de un Control Automático

Variable Controlada

Es el parámetro más importante del proceso, debiéndose mantener estable (sin cambios), pues su variación alteraría las condiciones requeridas en el sistema. Su monitoreo a través de un sensor es una condición importante para dar inicio al control.

Al analizar el ejemplo mostrado del intercambiador de calor, se observa la intención de calentar agua a través del vapor, para lo cual se deberá tener en cuenta las diversas variables de proceso como son los flujos de vapor y agua, las presiones de vapor y las temperaturas del agua; pero, la más importante

del sistema es la temperatura de salida del agua, por lo tanto la Variable Controlada.

Variable Manipulada

Es el parámetro a través del cual se debe corregir las perturbaciones del proceso, colocándose un actuador para lograr estabilizar el sistema.

En el ejemplo del intercambiador de calor, quien proporciona mayor o menor cantidad de energía al sistema es el ingreso de vapor, por lo tanto la variable a manipular será el flujo de ingreso de vapor.

Variable Perturbadora

Es el parámetro desestabilización del sistema por cambios repentinos afectando el proceso.

En el ejemplo, la variable perturbadora está representada por el flujo de entrada de agua fría, si por una baja de tensión se altera el funcionamiento de la bomba de suministro de agua, provocaría un menor ingreso de flujo al proceso originando la desestabilización del sistema.

Variable Medida

Es todo parámetro del proceso requerido para conocer su valor, y que por lo tanto deberá ser monitoreado, no siendo necesariamente la más importante para controlar el sistema, pero si para mantener un registro de data.

Sensor o Elemento Primario de Medición

Los sensores son los elementos primarios de medición de variables del proceso, siendo algunos usados para lectura e indicación y otros para transformar la variable medida en una señal eléctrica. Los más usados en la industria son los de nivel, de presión, de temperatura, de flujo y de proximidad entre otros.

Esta señal va hacia la entrada del controlador para ser comparada con el valor de referencia o "set- point" determinando el error y la acción de control.

Tipos de Sensores

De Contacto o No Contacto

Los sensores pueden ser clasificados de diversas maneras. Una forma común y simple es dividir los sensores en dos categorías: de contacto o no contacto. Los sensores de contacto realizan la medida – contacto físico – con el producto; por ejemplo los sensores de boyas para medir el nivel de un tanque.

Un sensor de no contacto se basa en las propiedades físicas de los materiales para realizar su medida; típicamente son menos propensos a fallas. Su uso se ve limitado por la característica del material a medir o por la gran interferencia en el ambiente de instalación, ocasionando malas lecturas. Un ejemplo de este tipo de sensor es el medidor de flujo ultrasónico.

Digital o Analógico

Otra forma de clasificar los sensores es por el tipo de señales de salida; éstas pueden ser de tipo digital o analógico. Los sensores digitales trabajan en dos estados: encendido (on) o apagado (off). Muchas aplicaciones implican tener conocimiento de la ausencia o presencia de algo.

Los sensores analógicos proporcionan medidas continuas, pudiendo ser utilizadas en diversos aspectos de la operación, como son el nivel, la presión, temperatura y el flujo, caracterizándose por funcionar en un rango de 4 a 20 mA.

Controlador

El controlador es un instrumento para detectar los desvíos existentes entre el valor medido por un sensor y el valor deseado o "set-point" programado por un operador, emitiendo una señal de corrección hacia el actuador como se observa en la figura 4. Los controladores pueden ser del tipo manual, neumático ó digital (electrónico).

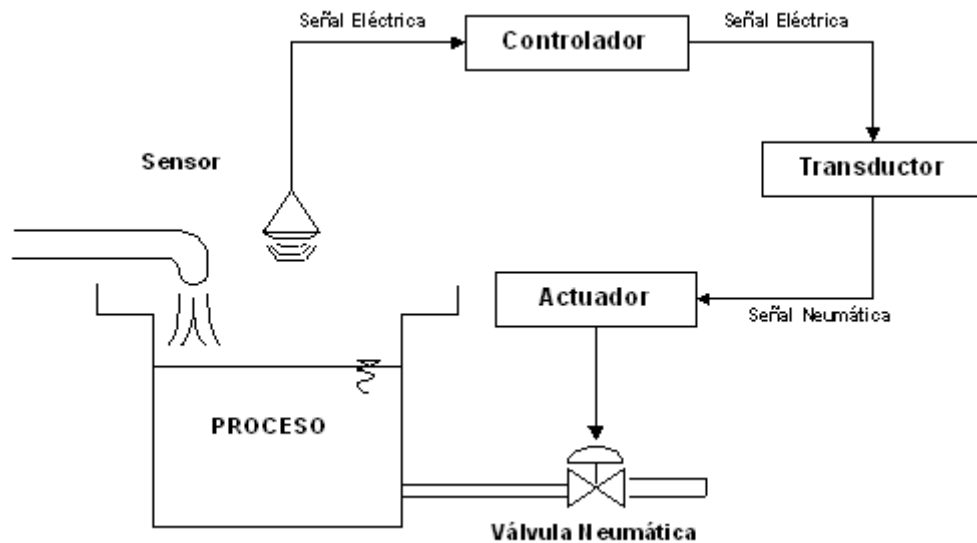


Figura 4 – Control Automático

Actuador o Elemento Final de Control

Los actuadores son los elementos finales de control y tienen por función, alterar el valor de la variable manipulada con el fin de corregir o limitar la desviación del valor controlado, respecto al valor deseado. Los fabricantes actualmente proveen una serie de actuadores tales como motores, válvulas, relés y conmutadores (switches). Los actuadores pueden ser de diversos tipos:

- Eléctricos
- Neumáticos
- Hidráulicos

Proceso

El término proceso para los fines de control, significa el equipo a automatizar en donde se estabiliza la variable de control, a través de los sensores, actuadores y controladores.

Características Dinámicas de las Variables de Proceso

Es necesario determinar las características dinámicas de las variables de un proceso para conocer las perturbaciones que desestabilizan el sistema.

Inercia

Es la propiedad de los cuerpos por la tienden a no variar del estado estacionario sin la intervención de una fuerza extraña.

Resistencia y Capacidad

Las partes del proceso tendientes a almacenar masa o energía son denominadas capacidad y las partes con cualidades para resistir la transferencia de energía o masa son denominadas resistencia.

Atraso de Transporte

Otro factor importante para la dinámica de procesos incluye el movimiento de masas entre dos puntos y es denominado atraso de transporte o tiempo muerto.

Respuesta de los Procesos frente a una Perturbación

La respuesta de un proceso a una determinada perturbación están casi siempre caracterizadas por dos constantes: una constante de tiempo (τ) y una ganancia estática. La ganancia es la amplificación o atenuación de la perturbación en el interior del proceso y no tiene interferencia con las características de tiempo de respuesta.

La constante de tiempo es la medida necesaria para ajustar un sistema de una perturbación en la entrada y puede ser expresada como:

$$\tau = \text{resistencia} \times \text{capacidad}$$

Señales

Una señal se define como una cantidad física variando con el tiempo, el espacio o cualquier otra variable independiente.

Señales Eléctricas

Las señales eléctricas pueden representar su información clasificándolas en:

- Señales Analógicas
- Señales Digitales

Los equipos para medir las señales analógicas y digitales pueden ser:

- Los polímetros, miden tensión o corriente
- Las impedancias, miden resistencias y capacidades
- Las sondas lógicas, indican si se encuentra en el nivel (0 ó 1).

Señales Analógicas

También denominada señal continua, se caracteriza por tomar cualquier valor dentro de unos determinados márgenes y llevar la información en su amplitud.

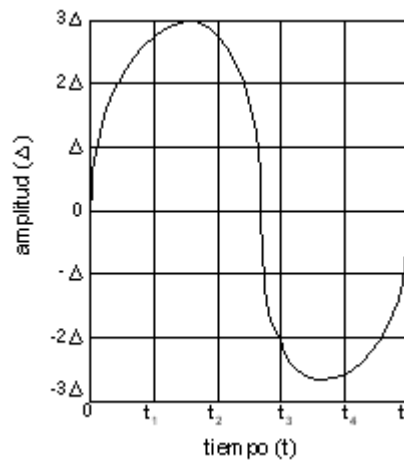


Figura 5 – Señal Analógica

Señales Digitales

Estas señales toman un número finito de niveles o estados entre un máximo y un mínimo. Las más utilizadas son las binarias, teniendo dos niveles asignados a los números binarios 0 y 1.

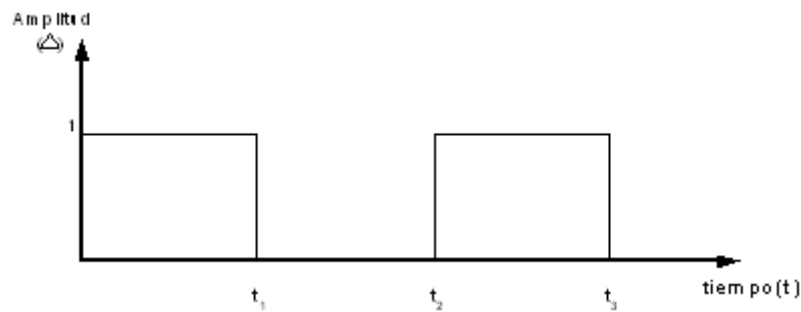


Figura 6 – Señal Digital

Señal Neumática

Se define como la variación física a través de la compresión o expansión de un fluido gaseoso generalmente el aire en un determinado tiempo. Se usa principalmente para la actuación sobre elementos finales de control tales como válvulas y pistones, entre otros.

Señal Hidráulica

Es la variación de la presión de un fluido líquido como aceites de alta viscosidad con respecto al tiempo. Se emplea principalmente en elementos finales de control donde se requieren fuerza considerable, como el caso de compuertas y pistones entre otros.

Señales de Sonido

Es el movimiento vibratorio de los cuerpos en una frecuencia determinada generando una onda al desplazarse a través de un fluido. Se aplica frecuentemente en la transmisión de información audible tal como el caso de alarmas.

Sistemas de Control Automático

El objetivo de cualquier estrategia de control es mantener una variable llamada controlada próxima a un valor deseado conocido como punto de ajuste (set-point). El término regularización es utilizado para describir la acción de control de agentes de perturbación del estado de equilibrio de la variable controlada.

Un sistema de control, solamente puede llegar a la regulación, aplicando en oposición a las fuerzas perturbadoras llamadas cargas, correcciones

equivalentes en una o más variables denominada manipulada. La variable controlada permanecerá estable en el proceso, mientras se encuentre en estado estacionario. Este equilibrio puede ser alcanzado usualmente por distintos sistemas de control clásico o moderno.

Sistemas de Control Clásico

Sistemas de Control de Lazo Abierto

Se denominan sistemas de control de lazo abierto cuando la salida no tiene efecto sobre la acción de control. En estos casos, no se compara la salida con la entrada de referencia. Por lo tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación fija. Así, la precisión del sistema depende de la calibración y del operador cuya función será la del controlador.

En presencia de perturbaciones, un sistema de control de lazo abierto no cumple función reguladora, ya que no tiene forma de conocer el resultado del control efectuado o salida del proceso. En la práctica el control de lazo abierto sólo se utiliza si la relación entre la entrada y la salida es conocida y si no se presentan perturbaciones tanto internas como externas significativas.

Sistema de Control de Lazo Cerrado

Se denomina sistema de control de lazo cerrado a aquel que frente a una perturbación, reduce la diferencia entre la salida del sistema y el valor deseado o "set point", realizando el control de forma automática.

Sistemas de Control Moderno

Control Adaptativo

Es un método en el cual la respuesta de un controlador varía automáticamente basado en los cambios de las condiciones dentro del proceso y puede emplearse en diversas aplicaciones, como por ejemplo en el control del pH.

Control Difuso

Este control utiliza la lógica difusa a través de conceptos de inteligencia artificial, para convertir una muestra de la señal real a números difusos, para tratarlos luego según las reglas de inferencia y las bases de datos,

determinados en las unidades de decisión, permitiendo así la estabilización del sistema sin la necesidad de fijar un punto de referencia (set-point).

Redes Neuronales Artificiales

Están diseñadas para actuar como lo hace el cerebro humano, conectando la red entre los elementos de la forma más sencilla para poder ser entrenados, y realizar funciones complejas en diversos campos de aplicación.

Instrumentación Electrónica

La instrumentación industrial es la parte de la electrónica, principalmente analógica, que se encarga del diseño y manejo de los aparatos electrónicos, sobre todo para su uso en mediciones. La instrumentación electrónica se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables física y químicas, a partir de las cuales se realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

Sensores

Un sensor es un elemento que se encarga que transformar la variación de la magnitud a medir en una señal eléctrica. Los sensores se pueden dividir en:

Pasivos: los que necesitan un aporte de energía externa.

Resistivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de su resistencia eléctrica. Un ejemplo puede ser un termistor, que sirve para medir temperaturas.

Capacitivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la capacidad de un condensador. Un ejemplo es un condensador con un material en el dieléctrico que cambie su conductividad ante la presencia de ciertas sustancias.

Inductivos: son los que transforman la variación de la magnitud a medir en una variación de la inductancia de una bobina. Un ejemplo puede ser una bobina con el núcleo móvil, que puede servir para medir desplazamientos.

Activos: los que son capaces de generar su propia energía. A veces también se les llama sensores generadores. Un ejemplo puede ser un transistor en el que la puerta se sustituye por una membrana permeable sólo a algunas sustancias (IsFET), que puede servir para medir concentraciones.

A veces también se puede aprovechar una característica no deseada de un elemento, como la dependencia de la temperatura en los semiconductores, para usar estos elementos como sensores.

Acondicionadores

La señal de salida de un sensor no suele ser válida para su procesado. Por lo general requiere de una amplificación para adaptar sus niveles a los del resto de la circuitería. En algunos casos, puede que la salida del sensor no sea lineal o incluso que ésta dependa de las condiciones de funcionamiento (como la temperatura ambiente o la tensión de alimentación) por lo que hay que *linealizar* el sensor y compensar sus variaciones. La compensación puede ser hardware o software.

Otras veces la información de la señal no está en su nivel de tensión, puede que esté en su frecuencia, su corriente o en algún otro parámetro, por lo que también se pueden necesitar demoduladores, filtros o convertidores corriente-tensión.

Un ejemplo clásico de acondicionador es el puente de Wheatstone, en el que se sustituyen una o varias impedancias del puente por sensores. A continuación típicamente se coloca un amplificador.

Por último, entre el acondicionador y el siguiente paso en el proceso de la señal puede haber una cierta distancia o un alto nivel de ruido, por lo que una señal de tensión no es adecuada al verse muy afectada por estos dos factores. En este caso se debe adecuar la señal para su transporte, por ejemplo transmitiendo la información en la frecuencia o en la corriente (por ejemplo el bucle de 4-20mA).

Transductor

Un transductor es un dispositivo capaz de transformar o convertir un determinado tipo de energía de entrada, en otra diferente de salida. El nombre del transductor indica cual es la transformación que realiza, aunque no necesariamente la dirección de la misma. Es un dispositivo usado principalmente en las ciencias eléctricas para obtener la información de entornos físicos a señales o impulsos eléctricos o viceversa.

Digitalización

Para un procesamiento de la señal eficaz hay que convertir la señal en digital. La instrumentación también estudia la conversión analógica-digital, así como la conversión digital-analógica. Por otra parte también pueden usarse técnicas de multiplexado de señales en el caso que haya más de una para medir.

Instrumentación Virtual

La instrumentación virtual consiste en la emulación de instrumentos físicos mediante el empleo de equipos de computación. En estos casos, el computador recaba la información correspondiente de la variable a medir y muestra la información por pantalla, en muchos casos semejando el comportamiento de un instrumento físico.

Algunos programas especializados en este campo son LabVIEW y Agilent-VEE (antes HP-VEE), y algunos buses de comunicación populares son GPIB, RS-232, USB, etc.

Características y Parámetros de los Instrumentos Industriales de Medición

Escala Completa de Salida

Es la diferencia algebraica entre las señales eléctricas de salida medidas con el máximo estímulo de entrada y el mínimo estímulo de entrada. Debe incluir toda desviación de la función de transferencia lineal

Exactitud

En instrumentación se denomina exactitud a la capacidad de un instrumento de medir un valor cercano al valor de la magnitud real. Exactitud implica precisión, pero no al contrario. Esta cualidad también se encuentra en instrumentos generadores de magnitudes físicas, siendo en este caso la capacidad del instrumento de acercarse a la magnitud física real. Es la razón de la máxima desviación de un valor representado por el sensor, con respecto al valor ideal. Normalmente viene expresado en porcentaje.

Ejemplo

Un sensor de desplazamiento lineal debería, idealmente, generar un milivoltio por cada milímetro de desplazamiento. Sin embargo en un experimento, un desplazamiento de 10,5 mm, produjo una salida 10,5 mV. Considerando sólo este valor, se esperaría que el desplazamiento hubiera sido de 10,5 mm, Esta desviación indica una exactitud de $\pm 5\%$.

Precisión

En instrumentación se denomina precisión a la capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones. Es un parámetro relevante, especialmente en la investigación de fenómenos físicos, ámbito en el cual los resultados se expresan como un número más una indicación del error máximo estimado para la magnitud.

Ejemplo

Se está midiendo un voltaje conocido de 100 V. Se toman cinco lecturas con cierto voltímetro y los valores encontrados son 104, 103, 105, 103 y 105 V respectivamente. Ya que la desviación máxima del instrumento con respecto al valor real (100 V) es de 5 V, entonces se tiene que la exactitud es de $\pm 5\%$. Como la desviación máxima con respecto a la media de las lecturas es de 1 V, entonces la precisión es de $\pm 1\%$.

Idealmente un instrumento es exacto y preciso con medidas todas cercanas entre sí y a la vez, cercanas al valor deseado. Algunos de los factores que falta de exactitud y precisión incluyen:

- Variaciones en los materiales
- Imprecisiones humanas en la fabricación
- Errores de diseño
- Tolerancias en la fabricación
- Condiciones ambientales

Error de Calibración

Es la inexactitud permitida por el fabricante, que debe darse como especificación del dispositivo.

Histéresis

La histéresis es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado. En instrumentación, es la desviación de la señal de salida del sensor en un punto

específico de la señal de entrada, cuando se le aproxima al punto desde direcciones opuestas

Ejemplo

Un termómetro al medir un objeto que se encuentra a 50 °C arroja una lectura de 49 °C cuando el objeto se está calentando y de 51 °C cuando se está enfriando. En este caso se dice que la histéresis es de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

No Linealidad

Es aplicable sólo a los casos donde la función de transferencia puede ser aproximada por una recta, y consiste en la máxima desviación de una función de transferencia real con respecto a la aproximación real. Se mide en términos de la no linealidad máxima y se expresa como un porcentaje de la deflexión de escala completa.

Sensibilidad

La sensibilidad de un dispositivo electrónico, es la mínima magnitud en la señal de entrada requerida para producir una determinada magnitud en la señal de salida, dada una determinada relación señal a ruido, u otro criterio especificado. Se representa como la razón de cambio entre la salida del sensor y el estímulo.

Resolución

Es el cambio más pequeño de la variable medida, que un sensor es capaz de detectar. Se define como el mayor cambio en la entrada que puede ocurrir sin cambio correspondiente en la salida. La resolución está relacionada con la precisión con la cual se realiza la medida.

Zona Muerta

Es el área de valores de la variable medida, que no hace variar la indicación del instrumento.

Campo de Medida

Es el conjunto de valores de la variable medida, que están comprendidas dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medición o

transmisión del instrumento. Viene expresado estableciendo los dos valores extremos.

Ejemplo

El campo de medida de un termómetro es de 100 a 300 °C

Alcance

Es la diferencia algebraica entre los valores superior e inferior del campo de medida del instrumento.

Ejemplo

El campo de medida del termómetro citado en el ejemplo anterior es de 200 °C

Saturación

Es el área de valores de la variable medida, donde el instrumento ha sobrepasado su capacidad máxima de operación por lo que se presenta un comportamiento distinto a la operación normal y por lo tanto, no confiable.

Repetibilidad

Es la capacidad de un instrumento para reproducir la misma lectura al leer valores idénticos de la variable bajo las mismas condiciones.

Ejemplo

Un manómetro con precisión de 1 psi que mide una presión de 25 psig y entrega lectura de 25,5, 26, 24,3 y 24 psig se dice que tiene una operación repetible. Si arroja una lectura de 27 psig estaríamos frente a una falta de repetibilidad, a menos que se demuestre que existe un problema de histéresis.

Error

Es la diferencia entre el valor leído por el instrumento y el valor de la variable medida.

Ruido

Son señales impuras que afectan a las diferentes señales del sistema de medición.

Linealidad

Es la proporción directa y libre de errores con equivalencias de alta calibración

Elevación de Cero

Es la cantidad con que el valor cero de la variable supera al valor inferior del campo de medida.

Supresión de Cero

Es la cantidad de desfase que hay por debajo del valor inferior del rango

Temperatura de servicio

Es la temperatura de trabajo del instrumento

Rango

Es el campo de medida para cualquier número de valores que siempre deben estar entre un límite superior e inferior, según las especificaciones del instrumento.

Vida Útil de Servicio

Es el tiempo durante el cual se espera que el instrumento funcione de acuerdo con las especificaciones del fabricante.