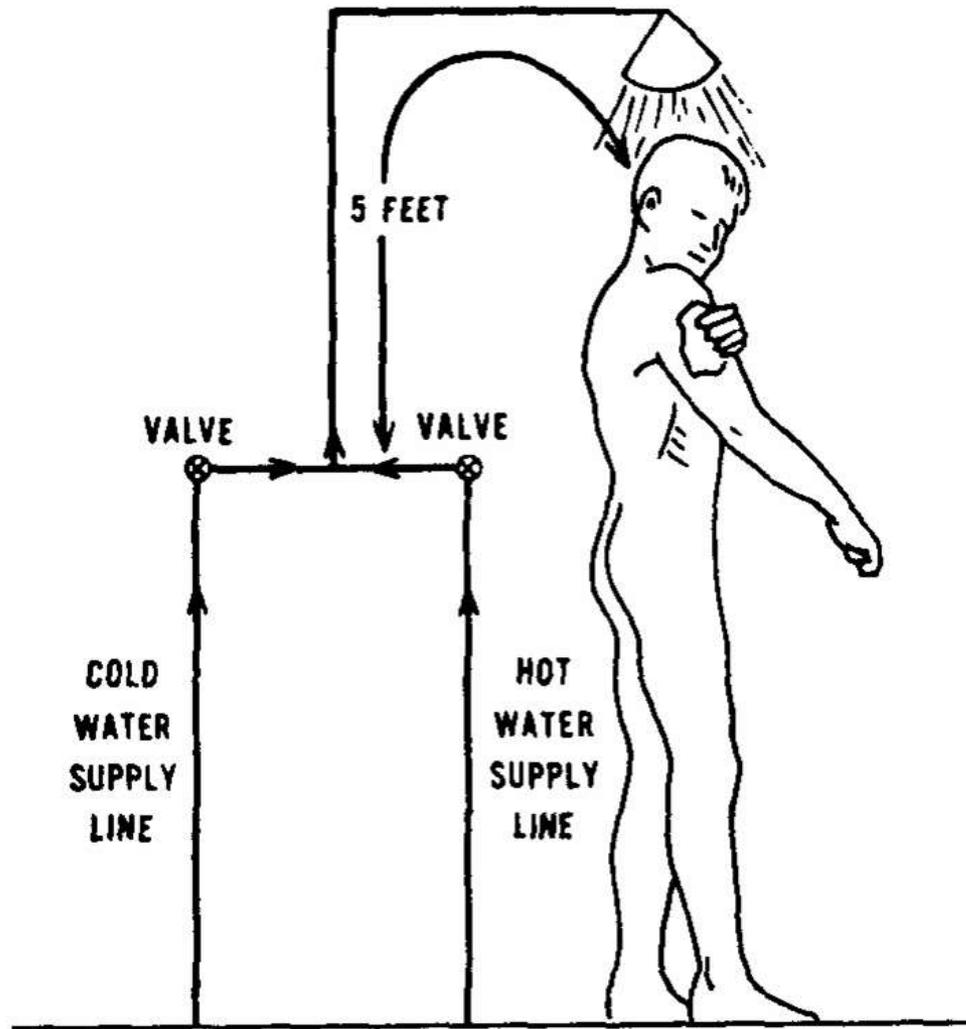


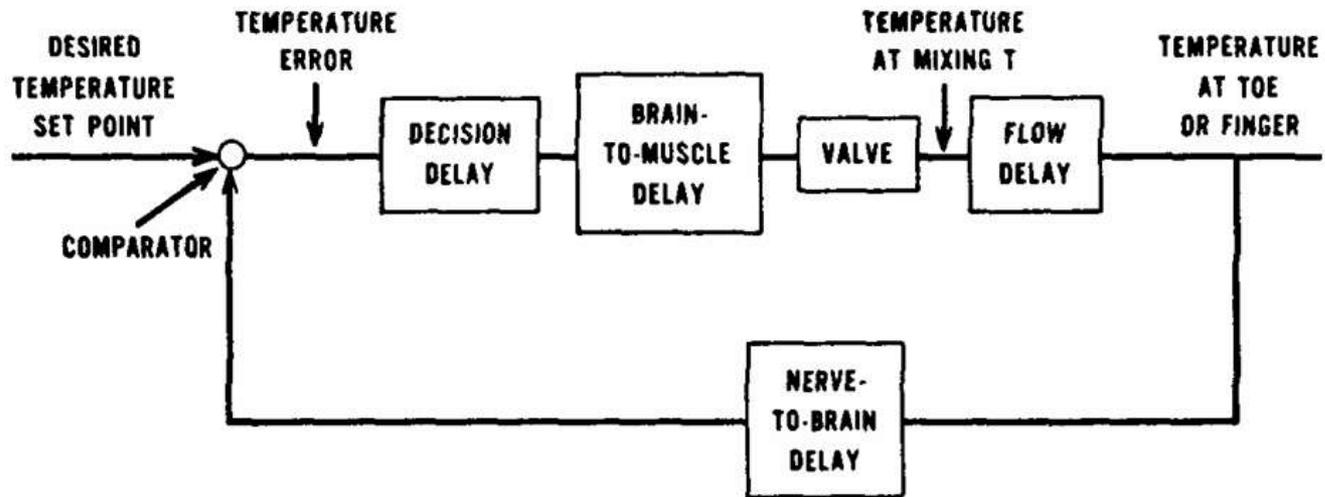
INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL

Generalidades:

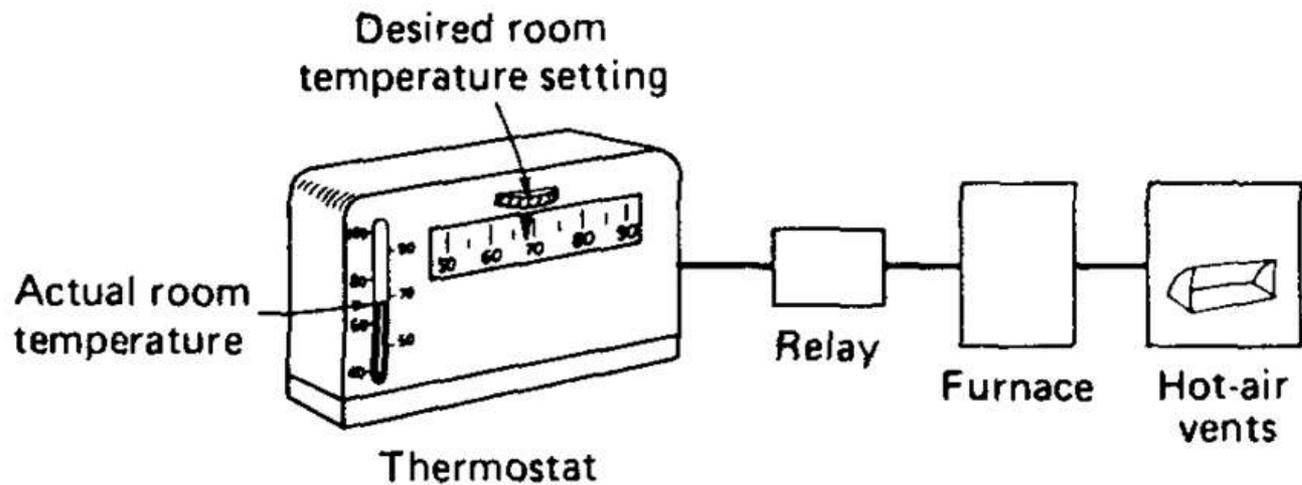
En los inicios de la era industrial, las variables industriales, sus valores, se conocían mediante la utilización de instrumentos simples que permitían al operador llevar a cabo un control de estas variables de forma manual, como manómetros, termómetros, indicadores de nivel, válvulas manuales, etc., gracias a la relativa simplicidad de los procesos.



Flow diagram for shower example.



Block diagram of shower control system.



Home heating control system.

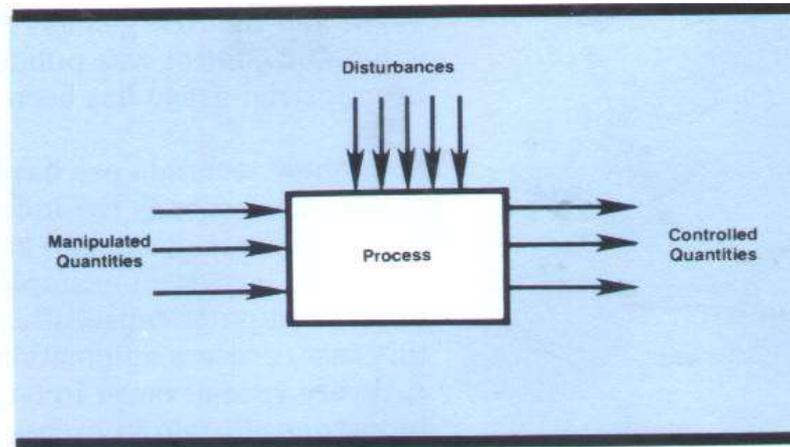


Fig. 2-1. The Variables Involved

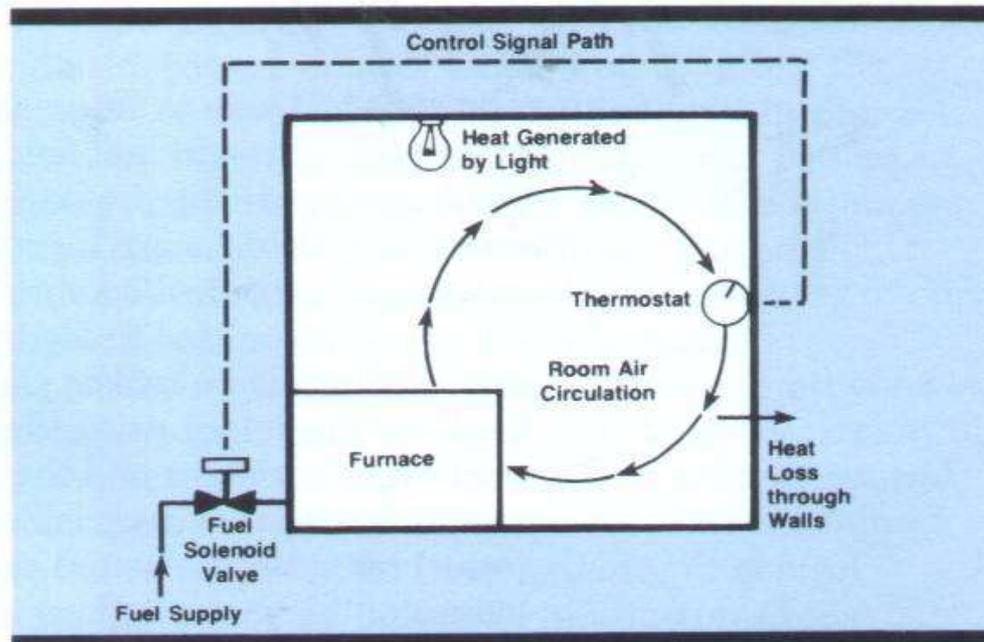


Fig. 2-2. A Home Heating System

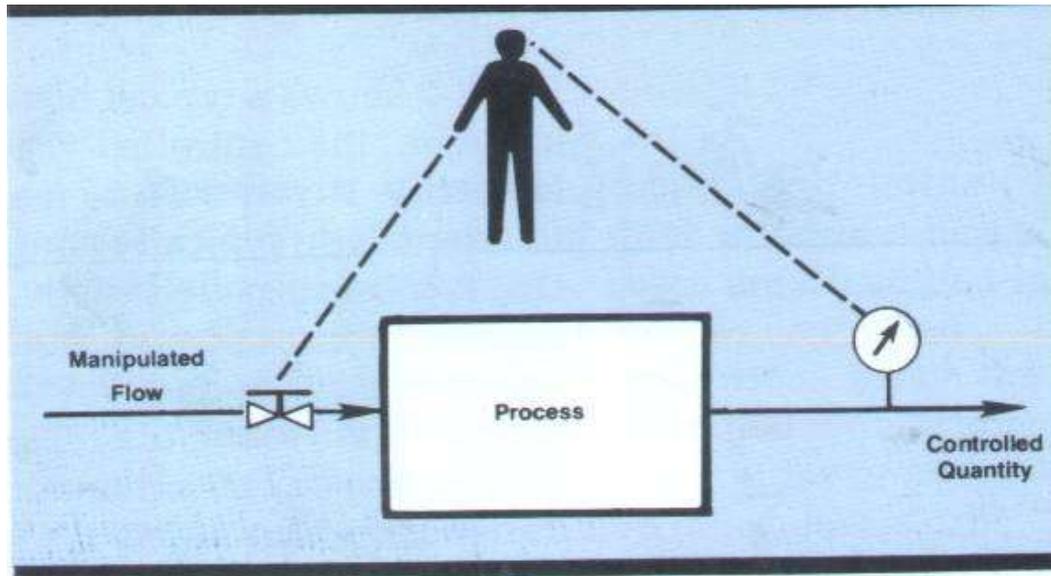


Fig. 2-3. Typical Manual Control

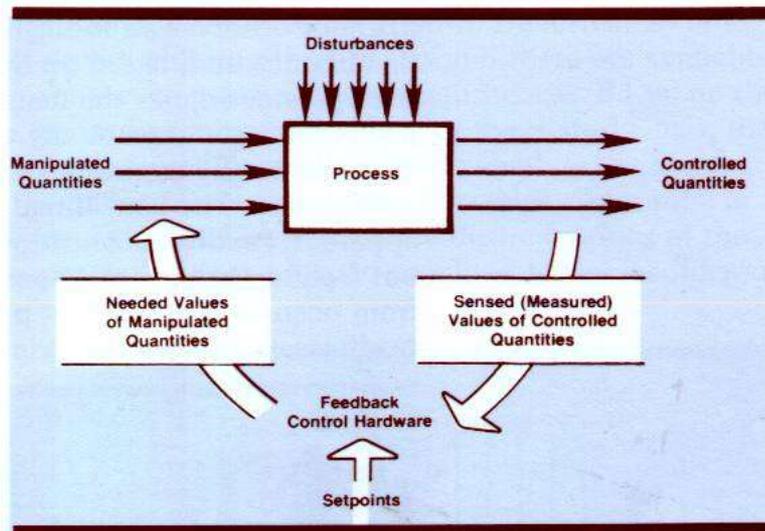


Fig. 2-4. Feedback Control Concept

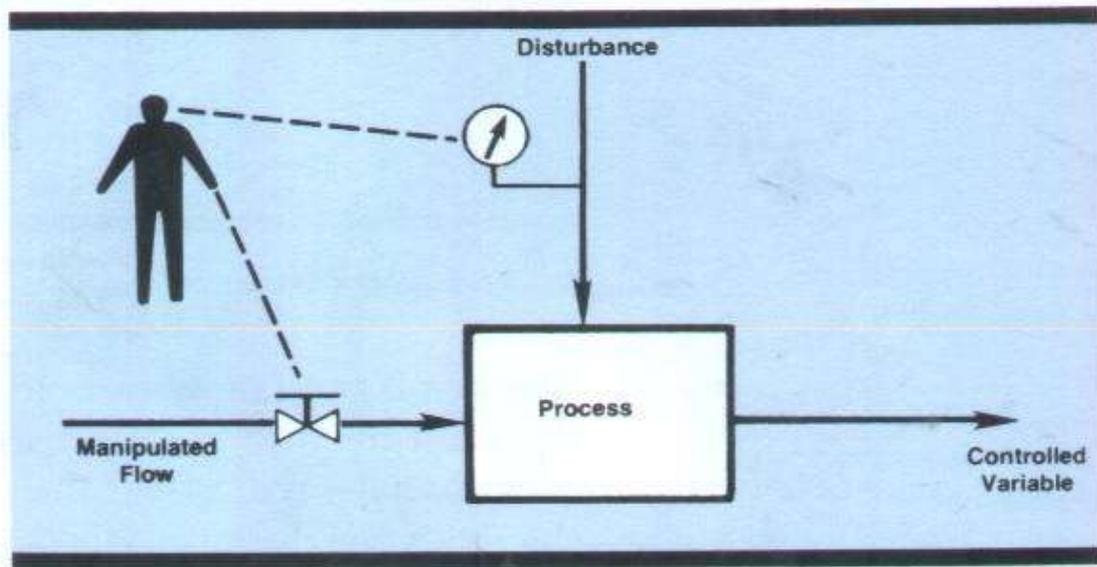


Fig. 2-5. Manual Feedforward Control

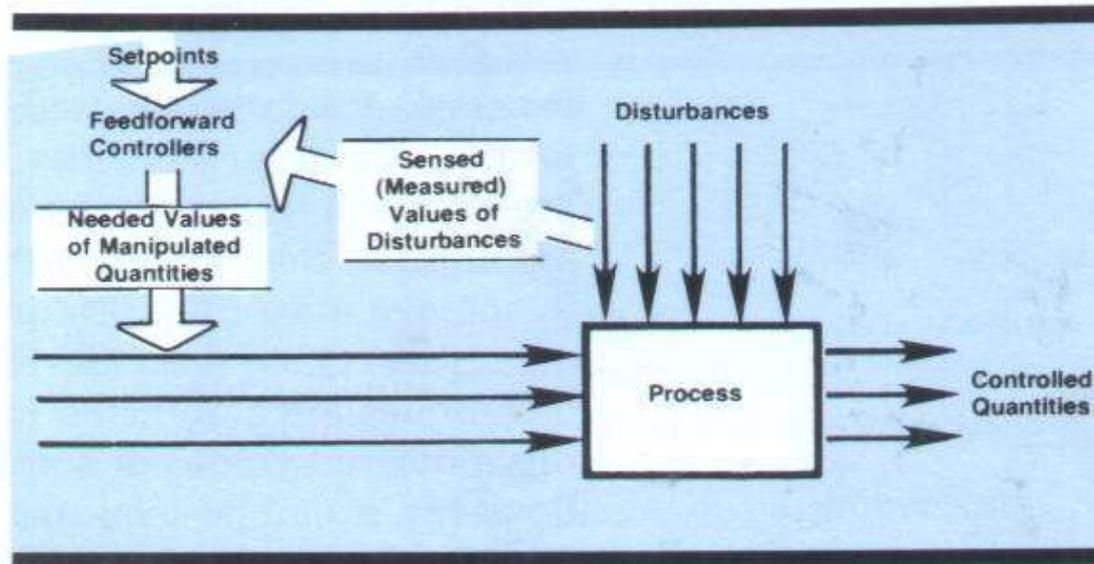


Fig. 2-6. Feedforward Control Concept

La complejidad que los procesos han ido adquiriendo ha exigido la automatización de los mismos por medio de instrumentos de medición y control.

Con ésto se ha ido liberando al operario de la actuación directa en la planta, pasando su actividad cada vez más a la labor de supervisión y vigilancia del proceso en el proceso o desde salas aisladas.

Ésto ha permitido a su vez fabricar productos más complejos y en condiciones más estables de calidad.

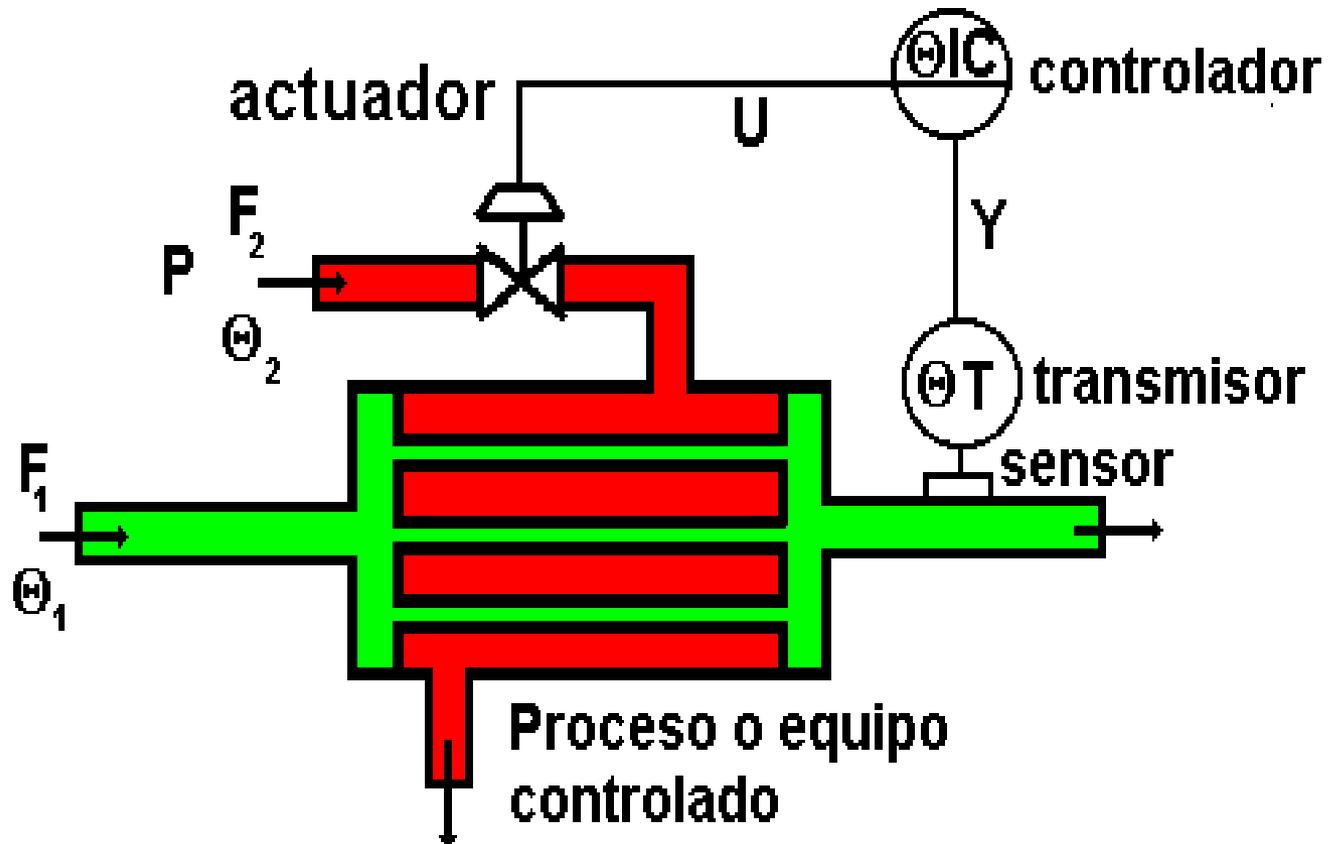
Las características de los instrumentos necesarios para las nuevas funciones variaron a su vez, el instrumento de medición ya no sólo debía indicar y/o registrar el valor de la variable, sino que debe ser capaz de generar una señal que pueda transmitirse a cierta distancia y además que pueda automáticamente compararse con el valor deseado de dicha variable.

Además, instrumentos con nuevas funciones debieron surgir, como por ejemplo los instrumentos de control, que de forma automática crean la corrección necesaria sobre el proceso.

Cuando se habla de “Sistema de Control” de un proceso o planta industrial, es conveniente distinguir dos casos diferentes:

- El control regulatorio.
- El control lógico secuencial.

Control regulatorio típico



Componentes típicos del control regulatorio

- Sensores continuos de magnitudes físicas: velocidad, desplazamiento, tensión, temperatura, pH, etc.
- Controlador PID
- Actuadores de regulación: válvulas y variadores.

Controles lógico secuenciales típicos:

- Control de semáforos.
- Control de ascensores o elevadores.
- Control de puesta en marcha y parada de máquinas y procesos continuos.
- Control de procesos por lotes.
- Control de procesos de envasado.
- Control de lavadoras.

Componentes típicos del control lógico secuencial

- Controlador de lógica alambrada (a relé electromagnético o compuertas de estado sólido).
- Autómatas programables (PLC).
- Sensores de valores límites.
- Conmutadores de valores límites (limit switches).
- Actuador de solenoide, actuadores de giro.

¿Que es la Instrumentación Industrial?

Es el conocimiento de la correcta aplicación de los equipos encaminados para apoyar al usuario en la medición, regulación, observación, transformación, ofrecer seguridad, etc., de una variable dada en un proceso productivo.

Los instrumentos industriales pueden realizar las siguientes funciones:

- 1. Sensar o captar una variable
- 2. Acondicionar una variable dada
- 3. Transmitir una variable
- 4. Controlar una variable
- 5. Indicar la magnitud de una variable
- 6. Totalizar una variable
- 7. Registrar una variable
- 8. Convertir una variable
- 9. Alarmar por magnitud una variable
- 10. Interrumpir o permitir una secuencia dada
- 11. Transmitir una señal
- 12. Amplificar una señal
- 13. Manipular una variable del proceso, etc

¿Por qué se mide?

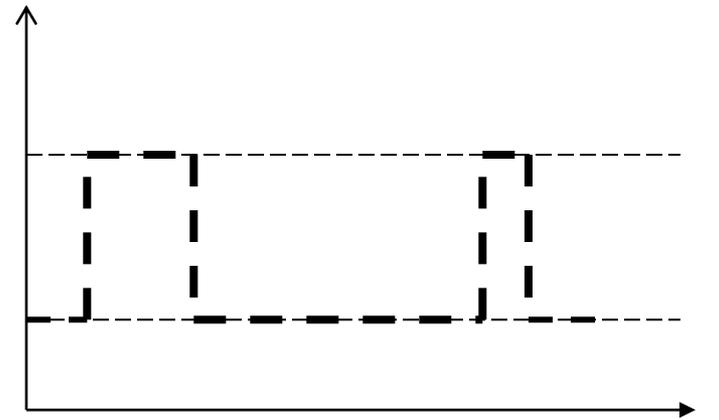
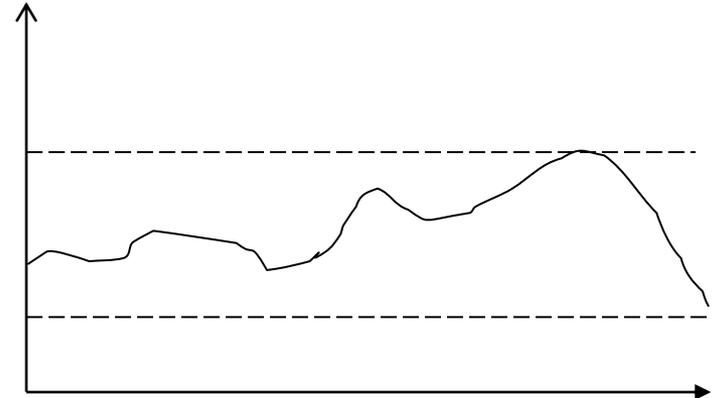
- Monitoreo de procesos y aplicaciones.
- Control de procesos y aplicaciones.
- Análisis experimental.

Instrumentación

- La medida consiste en la determinación de una magnitud por comparación con un estándar. Aunque algunos de nuestros sentidos puedan parecernos extraordinariamente desarrollados, la percepción y medida de magnitudes físicas no puede realizarse con precisión.
- “La instrumentación comprende todas las técnicas, equipos y metodologías relacionadas con el diseño, la construcción y la aplicación de dispositivos físicos para mejorar, completar y aumentar la eficiencia de los mecanismos de percepción del ser humano”

VARIABLES Y SEÑALES

- La información de las variables que se pretende capturar se almacenan en algún tipo de variable eléctrica, generalmente tensión. Esa variable eléctrica es lo que se denomina señal. Desde el punto de vista de la instrumentación electrónica, tenemos:
- **Variables analógicas** cuando los datos constituyen matemáticamente un conjunto denso, es decir que puede tener cualquier valor dentro de un intervalo determinado.
- **Variables digitales** cuando los datos constituyen un conjunto finito de valores



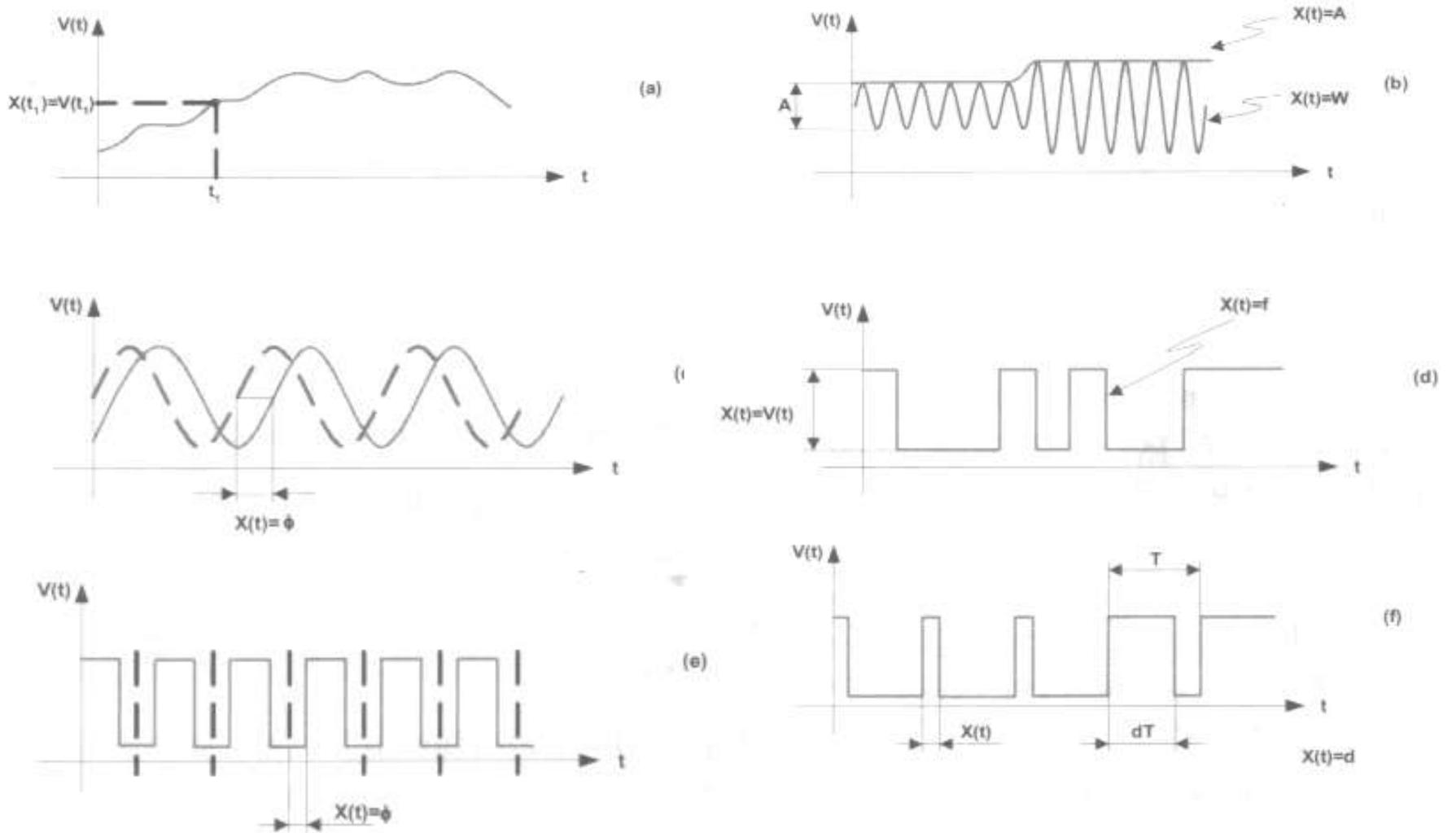
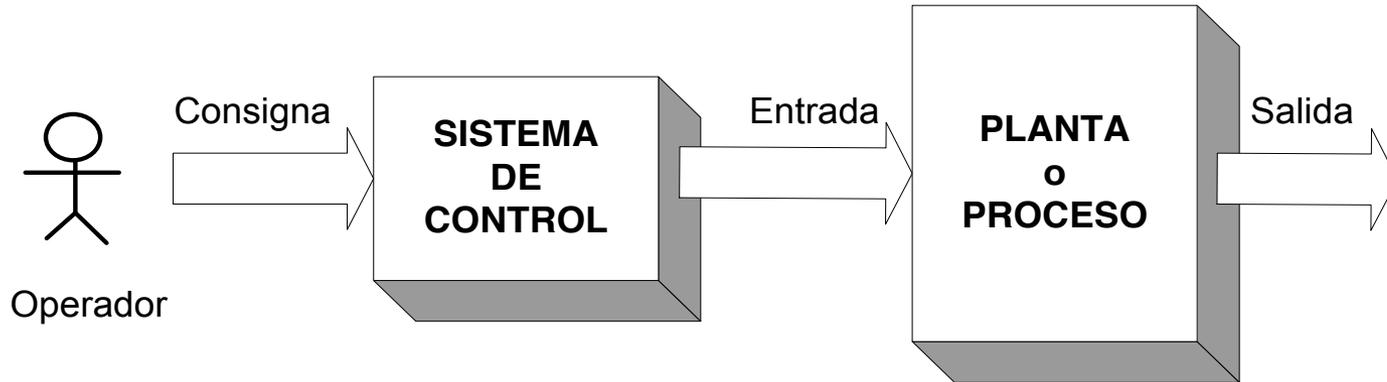
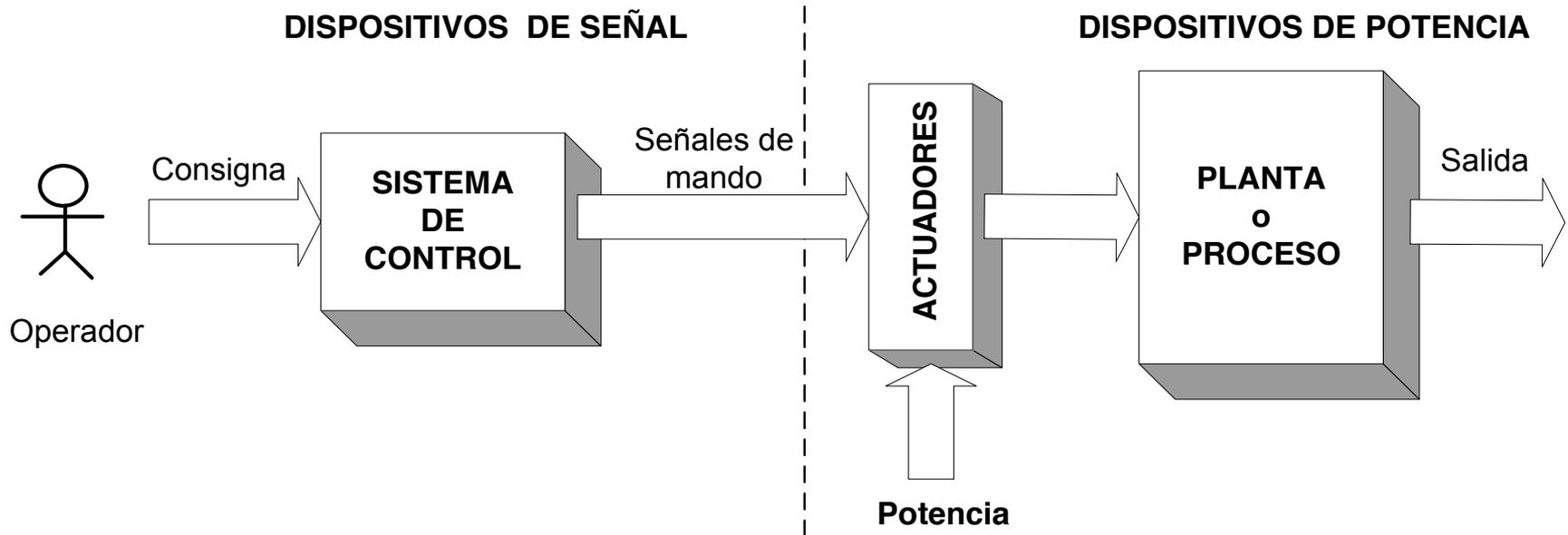


Figura 1.2. Señales que guardan información acerca de variables: el valor que interesa se guarda en (a) el valor instantáneo, (b) la amplitud o (c) la fase de una señal periódica, (d) la frecuencia de una señal digital, (e) la fase de una señal digital o en el ancho de pulso como en (f).

Control de Procesos

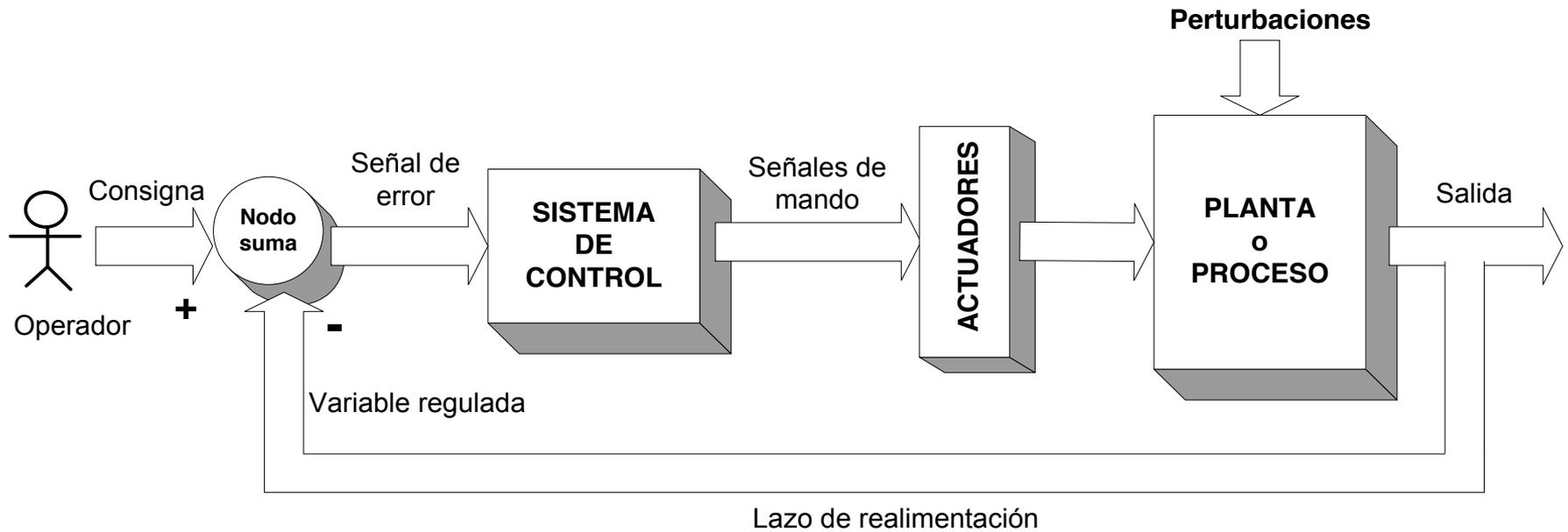


Sistema de Control genérico



Sistema de Control en lazo abierto

Control de Procesos



Sistema de Control realimentado o en lazo cerrado

Control de Procesos

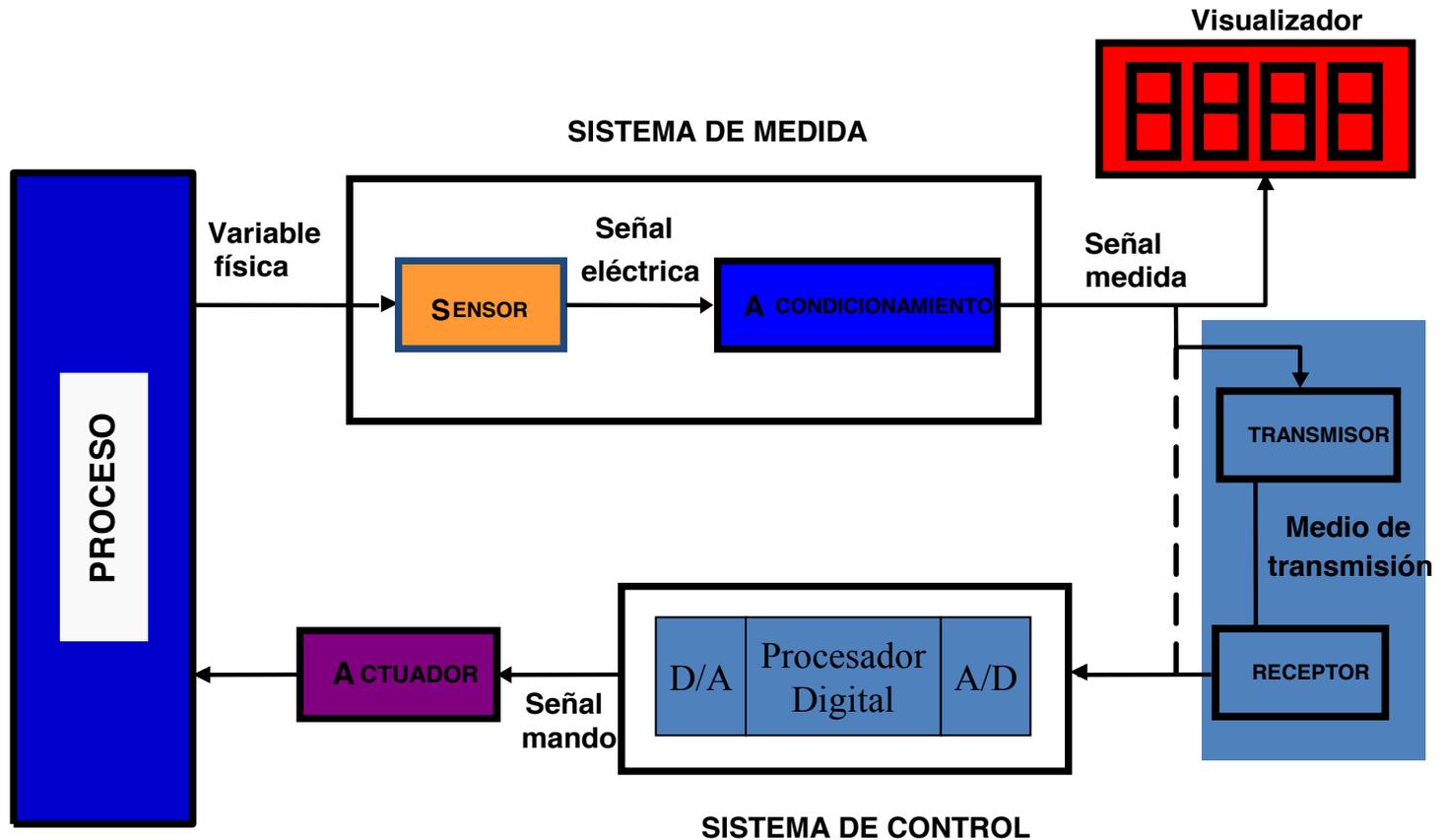
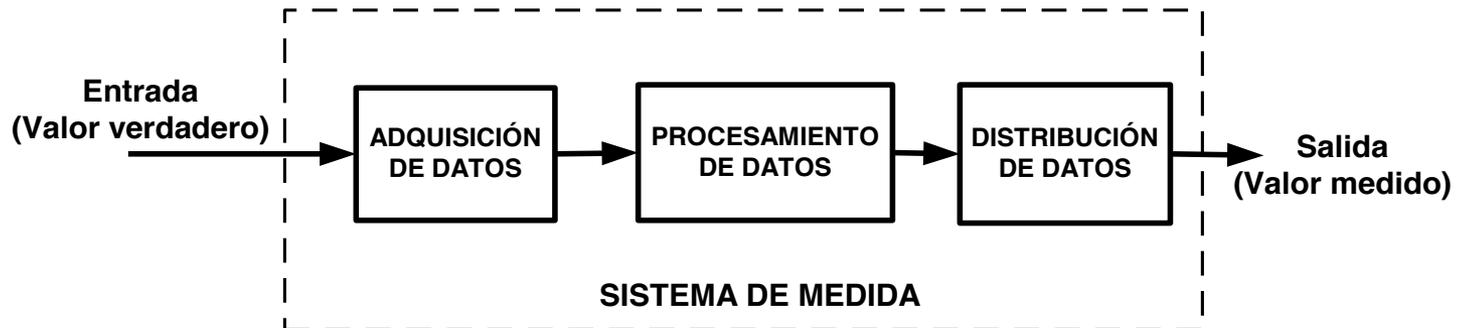
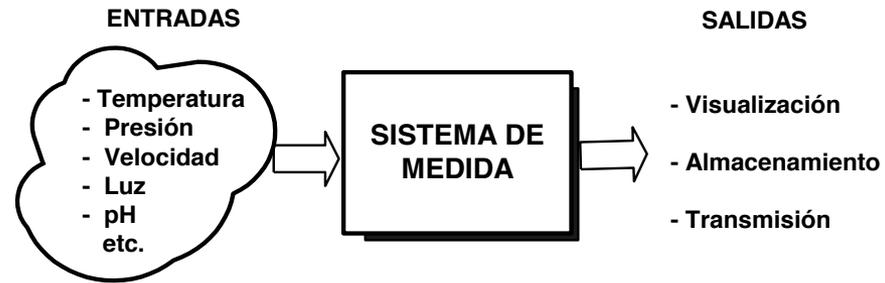
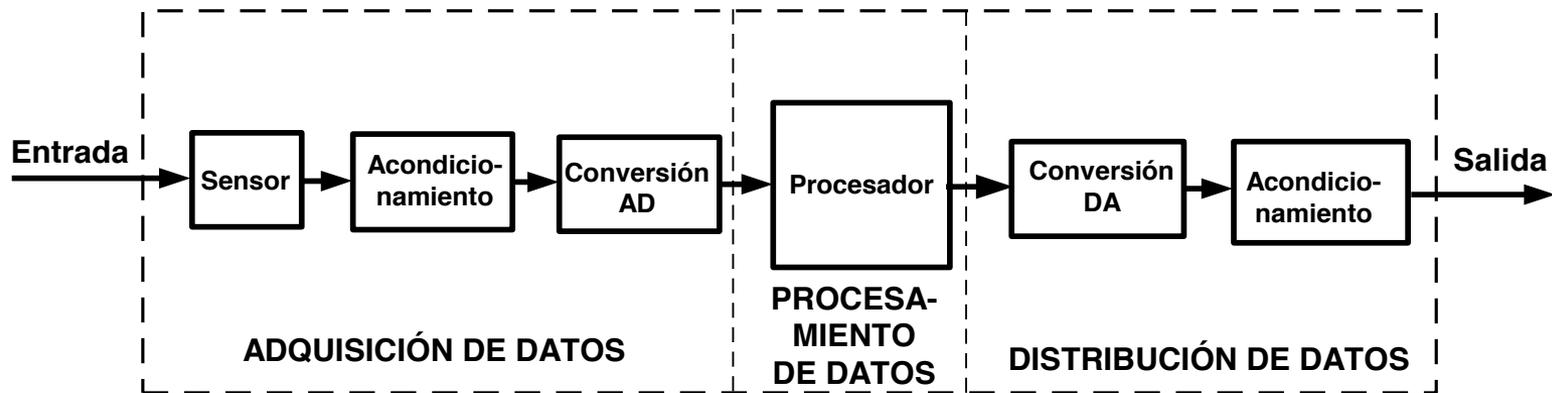


Diagrama de bloques de un sistema de medida en el contexto del control de procesos

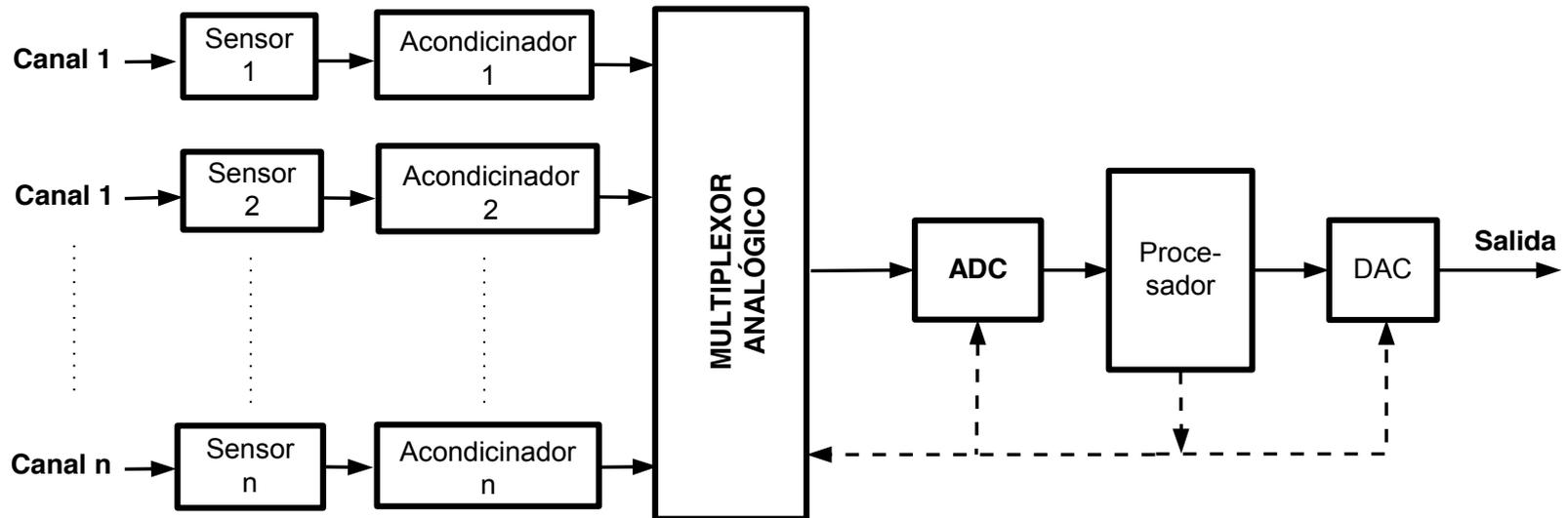
Sistemas de medida



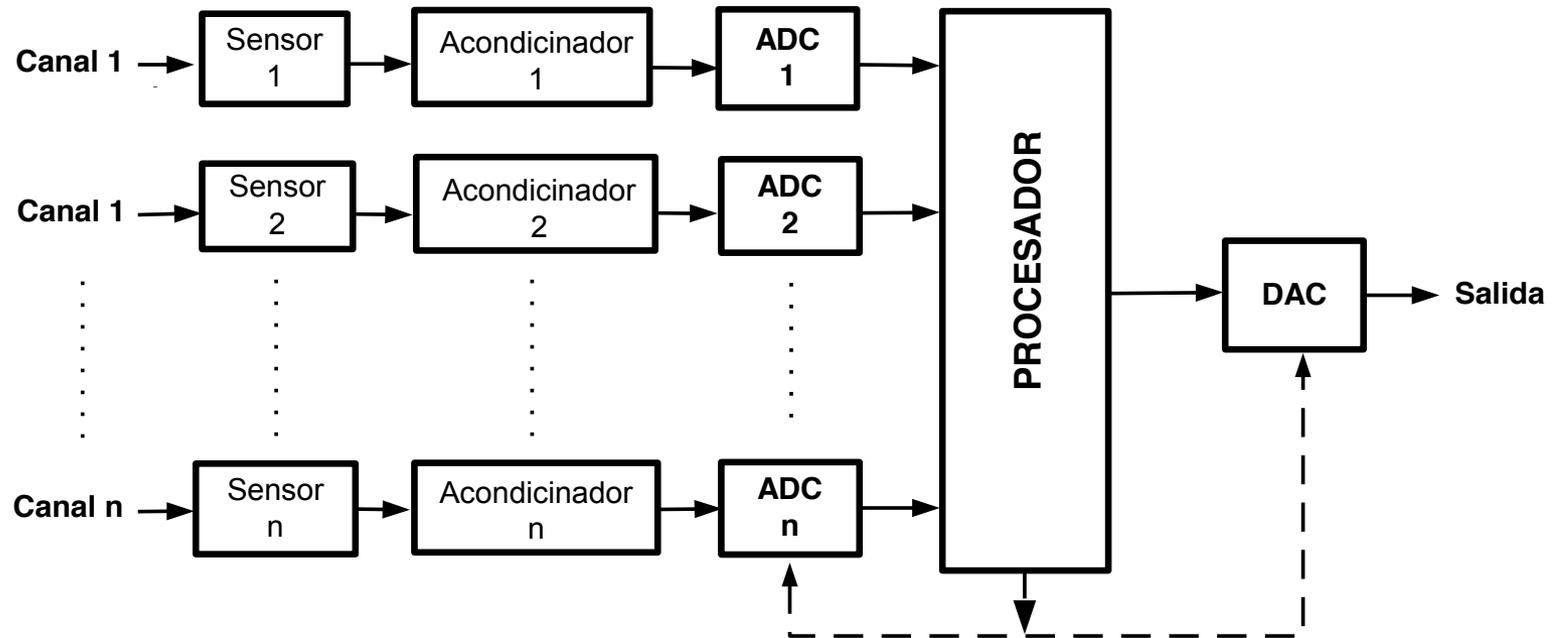
Sistemas de medida



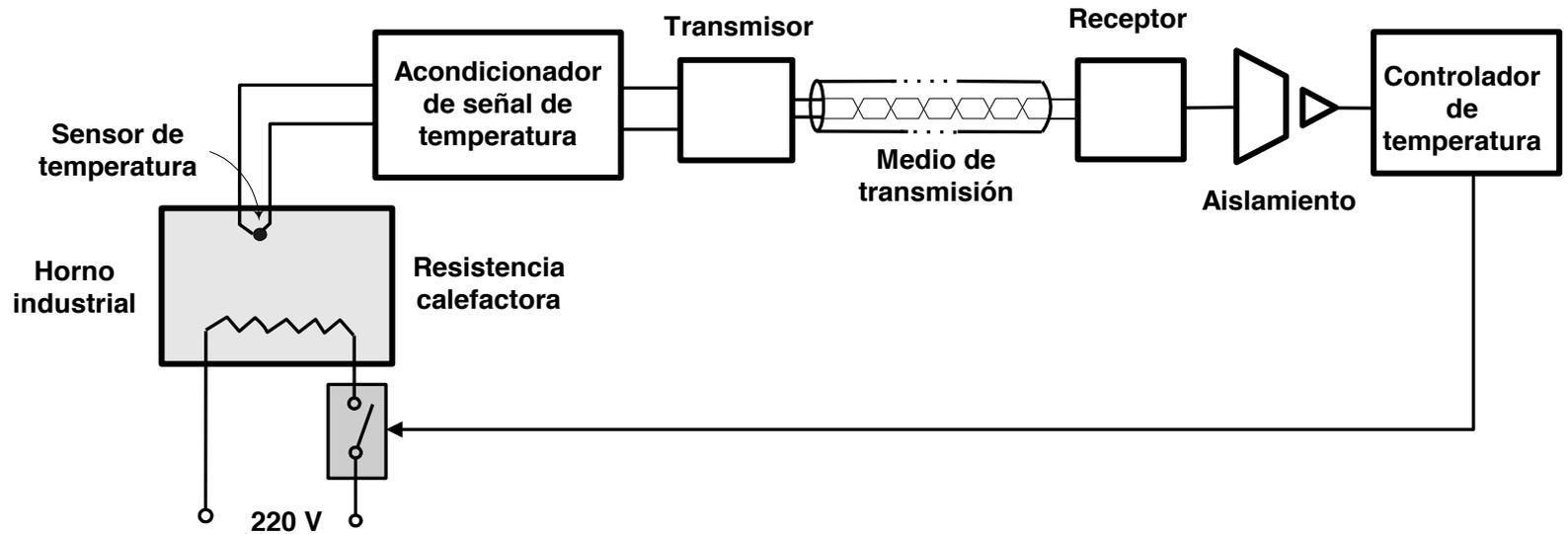
Sistemas de medida



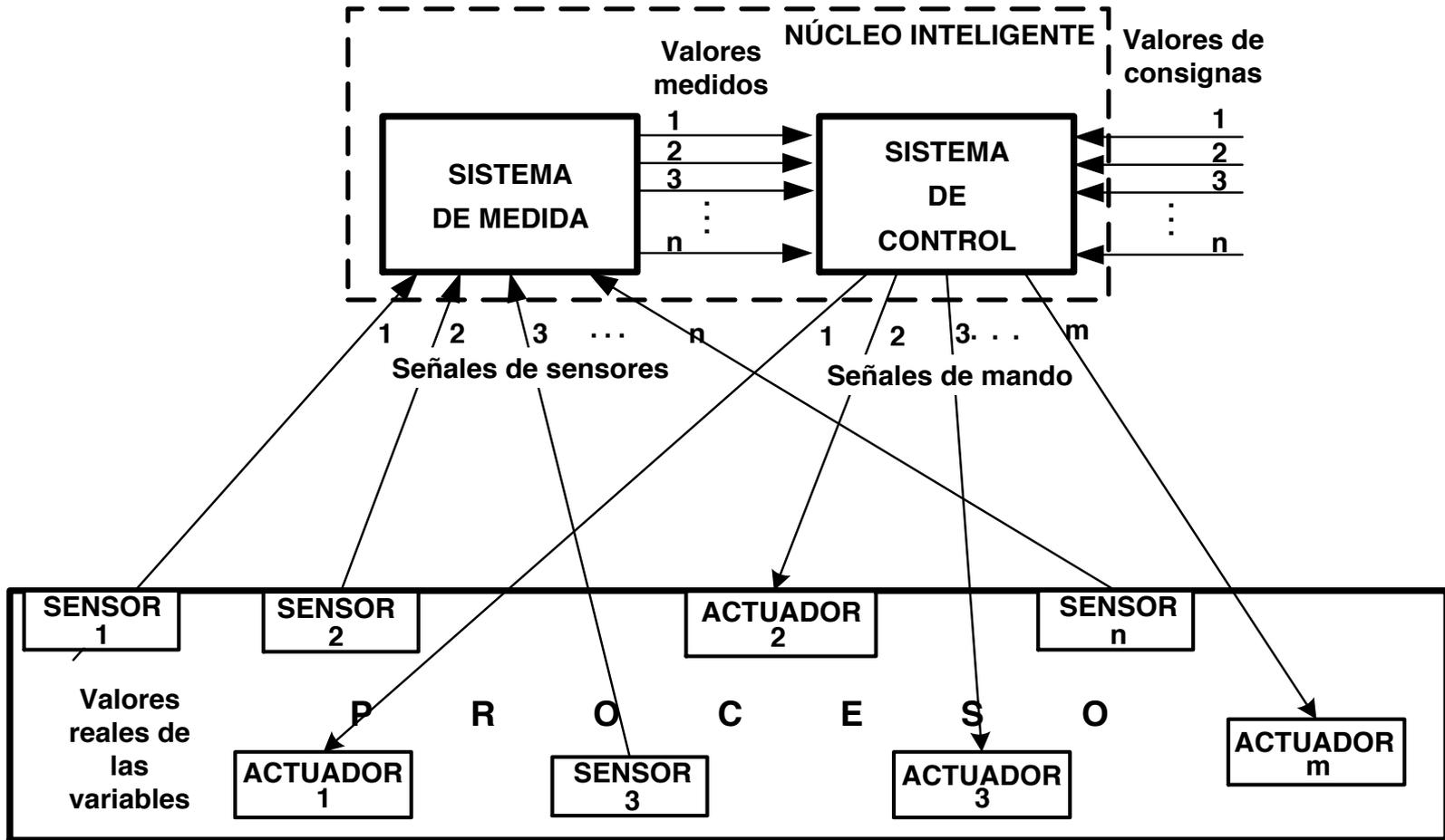
Sistemas de medida



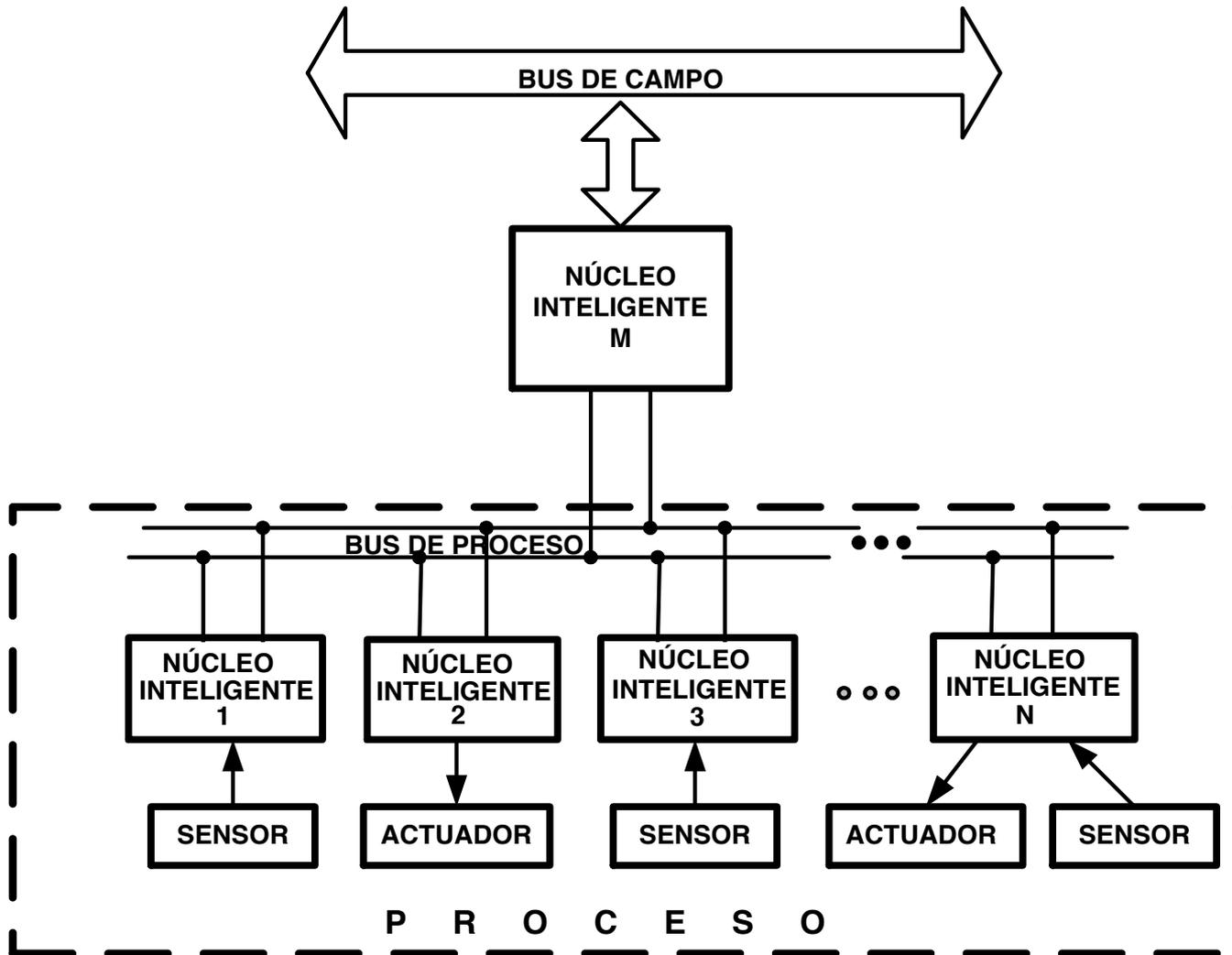
Ejemplo de sistema de medida



Topología de estrella



Topología de Buses



Clasificación de los Instrumentos.

La instrumentación industrial incluye una cantidad y variedad grande de instrumentos por lo que resulta conveniente clasificar los mismos para facilitar su estudio y comprensión.

Por supuesto que pueden realizarse diferentes clasificaciones, en el presente se considerarán dos clasificaciones: atendiendo a la función del instrumento y relacionada con la variable del proceso.

De acuerdo con la función del instrumento, estos pueden ser:

a. Instrumentos ciegos:

Son aquellos que no tienen indicación visible de la variable. A este grupo pertenecen los instrumentos de alarma, los transmisores o receptores sin indicación.

b. Instrumentos indicadores:

Disponen de un índice y una escala graduada en los analógicos o de indicación numérica en los digitales en los que puede leerse el valor de la variable medida.

c. Instrumentos registradores:

Registran con trazo continuo o de puntos la variable. Pueden ser circulares, de gráfico rectangular o alargado. Los registradores de gráfico circular, generalmente la carta circular da una revolución en 24 horas. Los de gráfico rectangular típicamente tienen una velocidad del gráfico de 20 mm./hora, aunque en muchos casos esta velocidad es seleccionable.

d. Elementos primarios:

Están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio medido.

e. Transmisores:

Captan la variable del proceso a partir del elemento primario y la transmiten a distancia. La señal transmitida puede ser neumática o eléctrica.

En los transmisores neumáticos la señal típicamente es de 3 a 15 psi (lb/pulg²), de 0,2 a 1 kg./cm² o de 20 a 100 kPa.

Los transmisores electrónicos entregan una señal eléctrica de corriente típica de 4 a 20 ma, de 1 a 5 ma, de 10 a 50 ma o de 0 a 20 ma o una señal de voltaje de 0 a 5 v.

El elemento primario puede formar parte integral o no del transmisor.

f. Transductores:

Reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten, modificada o no, en una señal de salida.

Son transductores un relé, un elemento primario, un transmisor, un convertidor presión del proceso-intensidad de corriente (PP/I), un convertidor presión del proceso-señal neumática (PP/P), etc.

g. Convertidores:

Reciben una señal neumática (3-15 psi) o eléctrica (4-20 ma) y la modifica a una señal estándar de corriente o neumática.

Ejemplos de éstos son los convertidores neumoelectrónicos (P/I) y los convertidores electroneumáticos (I/P).

h. Receptores:

Reciben las señales procedentes de los transmisores y la indican o registran.

i. Reguladores:

Comparan la variable controlada con el valor deseado (referencia, punto de consigna) y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación (señal de error).

j. Elemento final de control:

Recibe la señal del controlador (acción de control) y actúa sobre una variable del proceso (agente de control o señal manipulada) modificando las condiciones de operación del mismo. En la industria de proceso los elementos finales de control son generalmente válvulas de control.

Type 271 Pneumatic Actuator
on Type 241 Globe Valve (Fig. below)



En función de la variable del proceso:

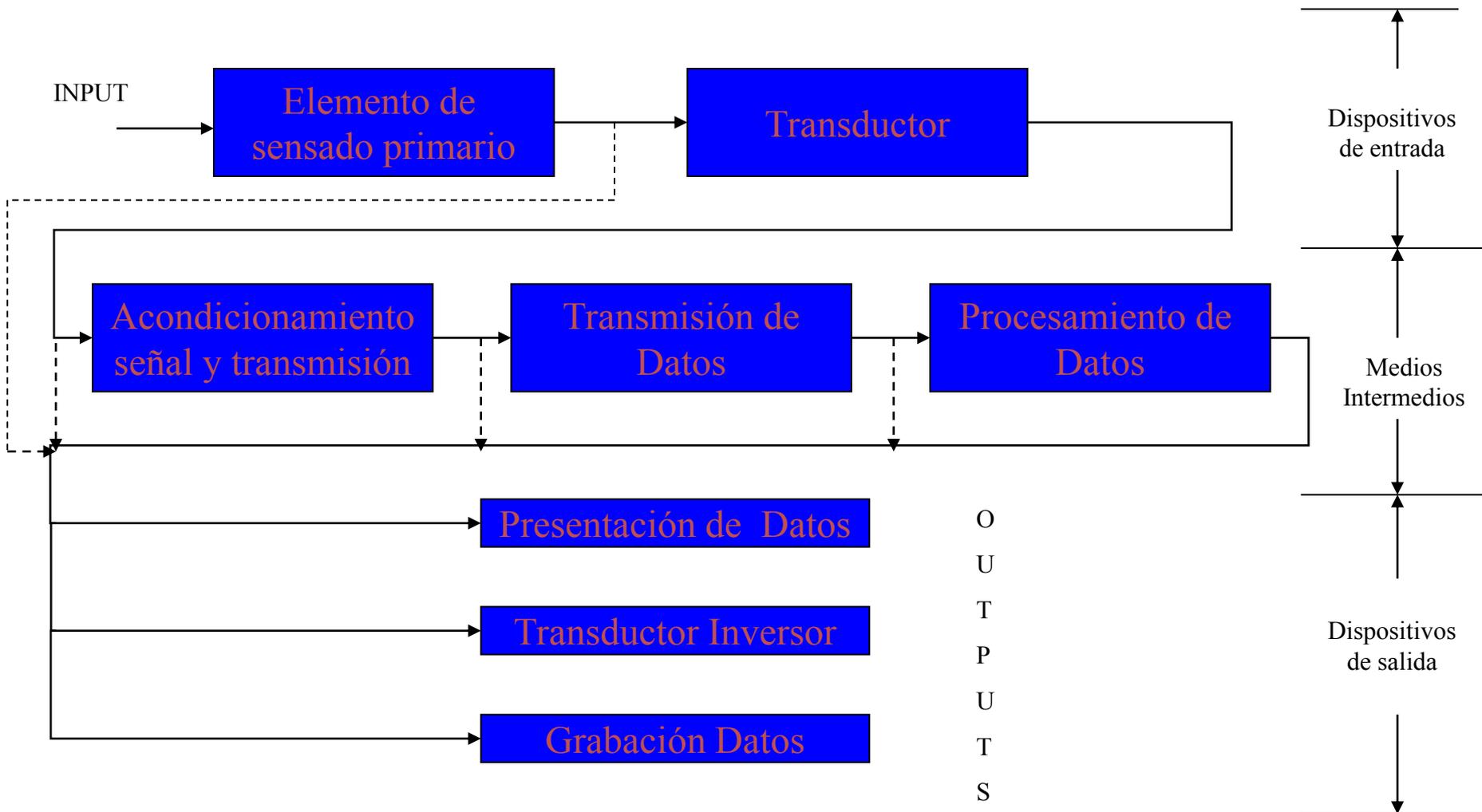
Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de las señales medidas y es independiente del sistema empleado en la conversión de la señal del proceso. Asimismo, esta clasificación es independiente del número y tipo de transductores existentes entre el proceso (es decir, la variable medida) y el instrumento final.

De esta forma, los instrumentos se clasifican en instrumentos de caudal, presión, nivel, temperatura, densidad, pH, tensión eléctrica, etc.

En la designación del instrumento generalmente se utilizan las dos clasificaciones expuestas anteriormente.

Así, se referirá a un transmisor ciego de presión o un controlador registrador de temperatura o un receptor indicador de nivel, etc.

DIAGRAMA FUNCIONAL GENERAL DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN



Elemento Primario (sensor)

- Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida.
- Es importante destacar que el instrumento extrae alguna energía del medio que mide. Entonces la magnitud medida siempre está perturbada por el acto de medir, lo cual hace que la medición no sea teóricamente perfecta.
- Una buena medición es la que minimiza este efecto, el cual siempre está presente en algún grado.

TRANSDUCTOR

- Se denomina transductor en general, a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta.
- Dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares, cualquier dispositivo que convierta una señal de una de un tipo en una señal de otro tipo debería de considerarse un transductor.
- En la práctica se considera transductor solo a aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica.
- Ventajas de las señales eléctricas:
 - Cualquier variación del un parámetro no eléctrico de un material viene acompañado por la variación de un parámetro eléctrico.
 - En un proceso no conviene extraer energía, por lo que mejor es amplificar la señal. Se pueden obtener altas ganancias.
 - Gran cantidad de recursos para acondicionar la señal.
 - Numerosos recursos para presentar o registrar la información.
 - La transmisión de señales eléctricas es más versátil que las señales mecánicas, hidráulicas o neumáticas.

Acondicionadores de señal

Elemento manipulador de variables.

- Los acondicionadores de señal, adaptadores o amplificadores, en sentido amplio son los elementos del sistema de medida que ofrecen, a partir de la señal de salida de un sensor electrónico, una señal apta para ser presentada o registrada o que simplemente permita un procesamiento posterior.
- Consisten en circuitos electrónicos que ofrecen entre otras funciones: amplificación, filtrada, adaptación de impedancias y modulación o desmodulación.
- Manipular en este caso es un cambio del valor numérico de acuerdo con alguna regla definida pero conservando la naturaleza física de la variable.
- Entonces un amplificador acepta una señal de tensión pequeña como entrada y produce una señal de salida en tensión que se mantiene constante en el tiempo.

Elemento transmisor de datos.

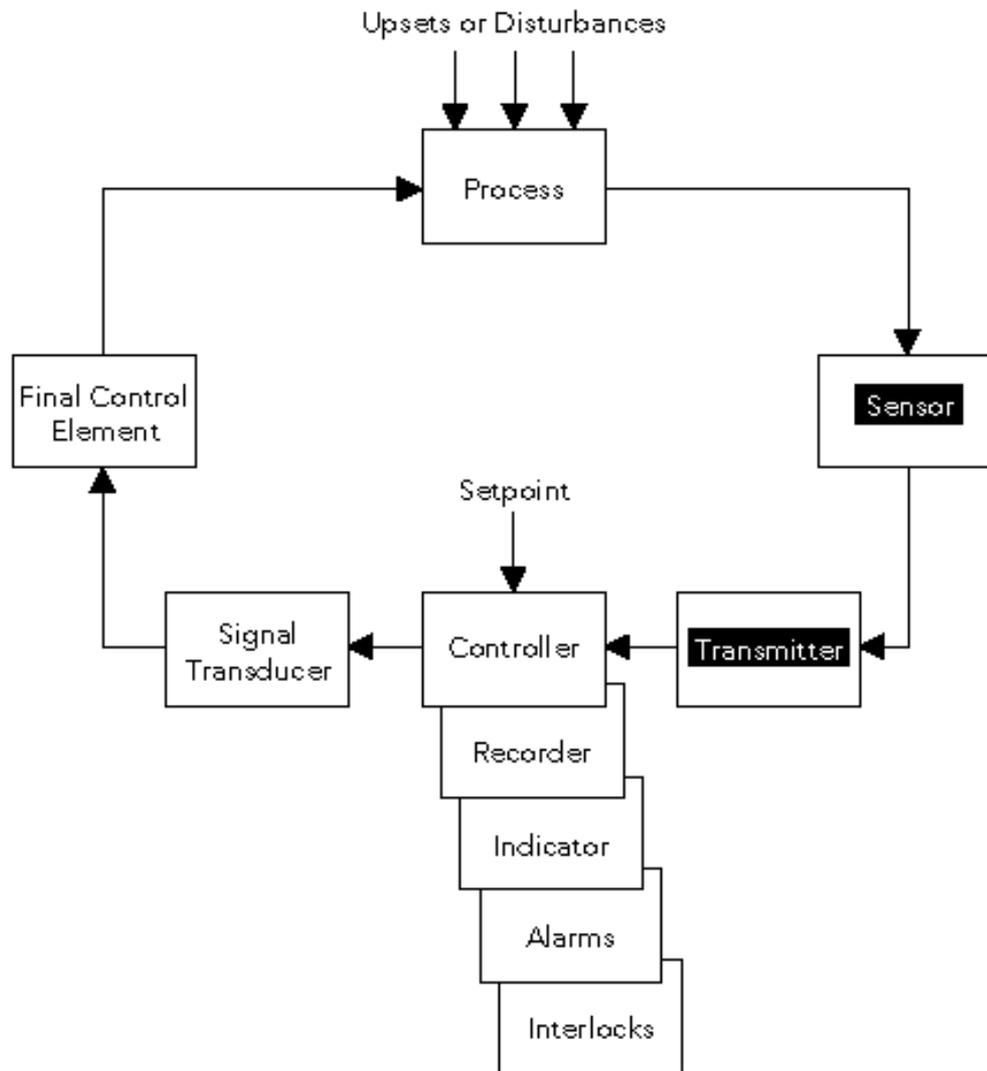
- Cuando los elementos funcionales de un instrumento están físicamente separados se hace necesaria la transmisión de información.
- El transmisor puede ser muy simple o tan complejo como un sistema telemétrico que incluya satélites.

Elementos de almacenamiento de datos

- En algunos casos se trata de almacenar la información obtenida por el sistema de medición para su posterior análisis o post-procesamiento.
- Se suelen emplear registradores, grabadoras de cinta o disco magnético e incluso almacenamiento temporal en memoria.

Elemento presentador de datos.

- El objetivo es medir una cantidad para comunicar la información al humano el cual tiene intenciones de supervisar, controlar o analizar la medición.
- Es necesario convertir la variable a una forma reconocida por los sentidos humanos.
- Esto puede ser un indicador, un registrador, display alfanumérico, etc. y puede contener elementos de cálculo adicional para filtrar, interpolar, etc. la medición.



Sensor and Transmitter

This figure highlights the role of the primary element and transmitter in the context of the measurement system. The system "starts" with the process shown above. The sensor produces a response representing the value of the process variable. A transducer, within the transmitter, converts this response to a standard instrument signal (usually either 3-15 pounds per square inch or 4-20 milliAmps). The transmitter amplifies this standard signal and sends it to a controller and/or other instruments. Understanding the role of each piece of equipment is important.

Measurement Devices

Measurement devices perform a complete measuring function, from initial detection to final indication. Two important aspects of a measurement system are the sensor and the transmitter. A third is the transducer.

Here are definitions of these three terms:

Sensor: Primary sensing element

Transducer: Changes one instrument signal value to another instrument signal value

Transmitter: Contains the transducer and produces an amplified, standardized instrument signal

Sensor, Transmitter and Transducer

You may wish to refer again to [the figure in the Introduction](#) to clarify the role of sensors, transmitters and transducers. The sensor is the primary sensing element and exists in close proximity to the process. The sensor measures the controlled variable in the process and sends a non-standardized signal to the transmitter.

The transmitter contains a transducer which converts the non-standardized signal of the sensor into a standardized form that it amplifies. The most common standardized forms are either 4-20 milliamps or 3-15 psi. If digital signals are being used, the transmitter converts the signal to digital. If it is a [smart device](#) (which will be covered later) the transmitter may convert the signal into two signals, both an [analog](#) signal and a [digital](#) signal, before sending them out. Smart devices also have the ability to superimpose a digital signal over an analog signal. Transducers convert one instrument signal value to another, usually a pneumatic signal to an electronic signal (pressure to current, abbreviated "P to I") or an electronic signal to a pneumatic signal (I to P). Technically, sensors and transmitters are transducers because their basic function is to translate a signal. However, to clarify specifically how they function the various elements are referred to individually (sensor, thermocouple, transmitter, etc.) and the term "transducer is reserved for a device that converts I to P or P to I.

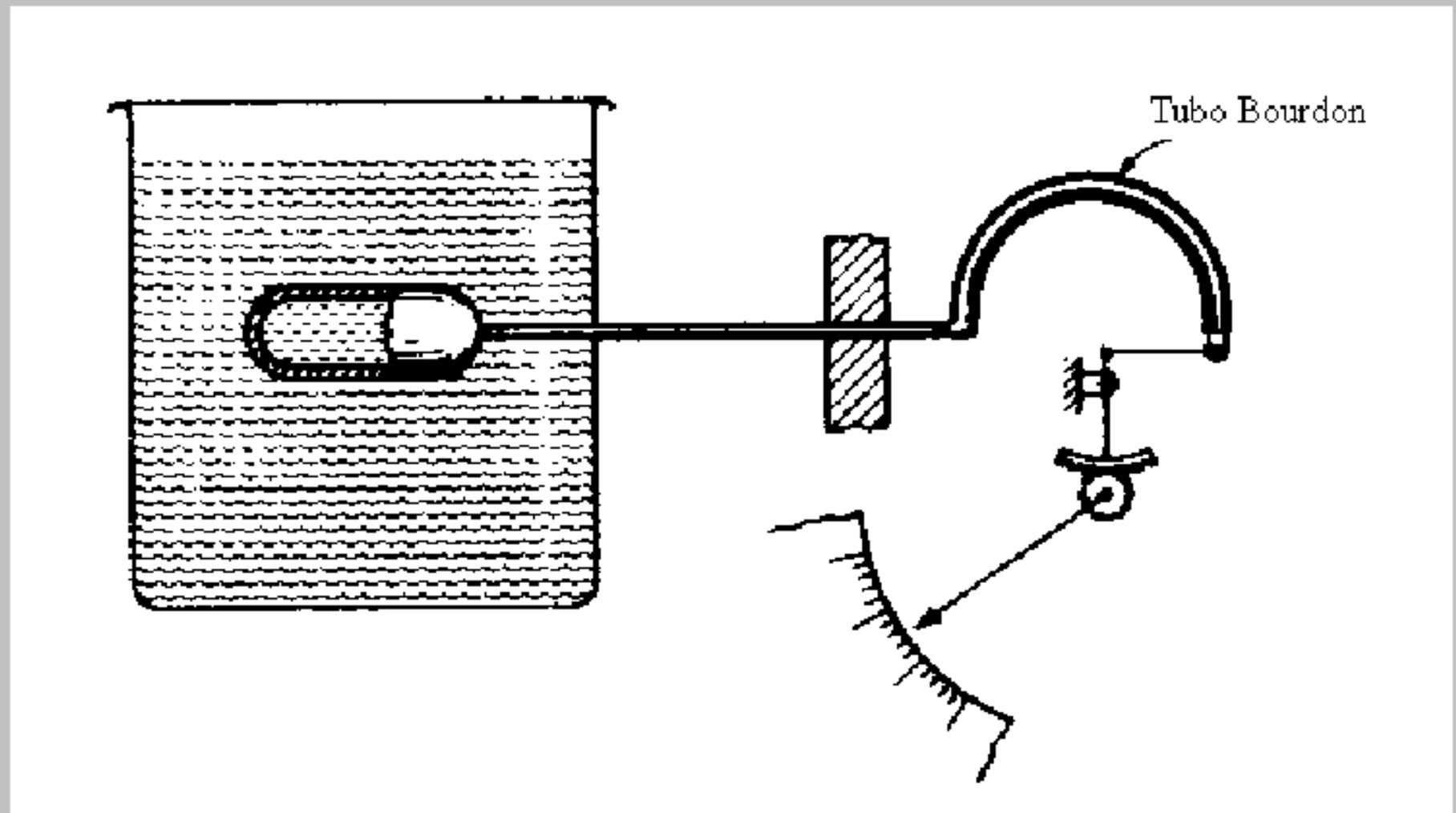


Fig. 1.4. Contador de presión.

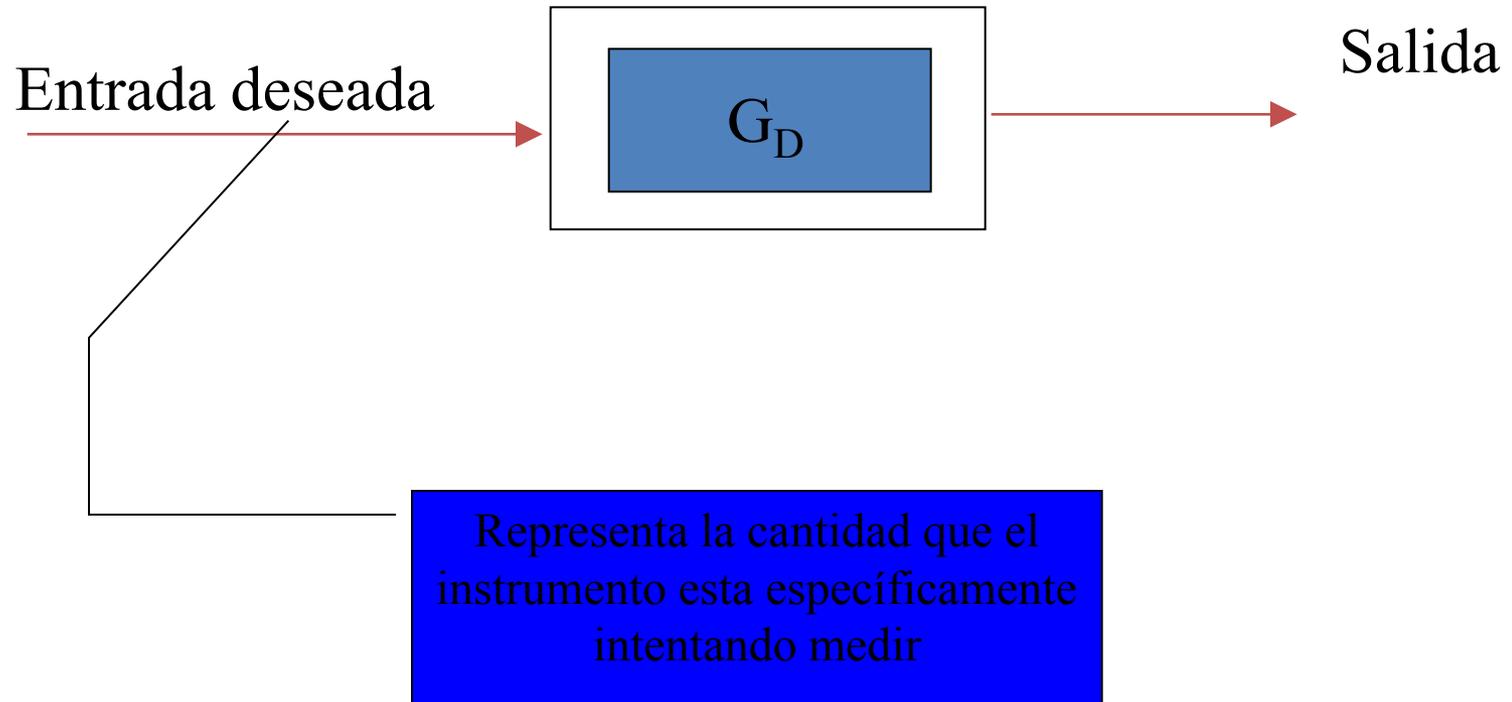
- En el Sistema de medición anterior, se trata de conocer la temperatura de un líquido que se encuentra en un recipiente.
- El bulbo es el elemento primario y a la vez el convertidor de variable ya que en su interior hay un fluido que varía su dimensión con la temperatura y hace que aparezca en su extremo una presión ejercida por el fluido proporcional a la temperatura en el recipiente.
- El capilar que une al bulbo con el tubo Bourdon no es más que el elemento transmisor de datos y es el tubo Bourdon el segundo elemento convertidor de variable al recibir del capilar la presión del fluido que es proporcional a la temperatura y convertirla en movimiento.
- El elemento manipulador de variable esta dado por la unión del Bourdon con la aguja indicadora.
- Es la aguja y la escala el elemento presentador de datos que como ya sabemos permite al hombre conocer la temperatura en el recipiente.

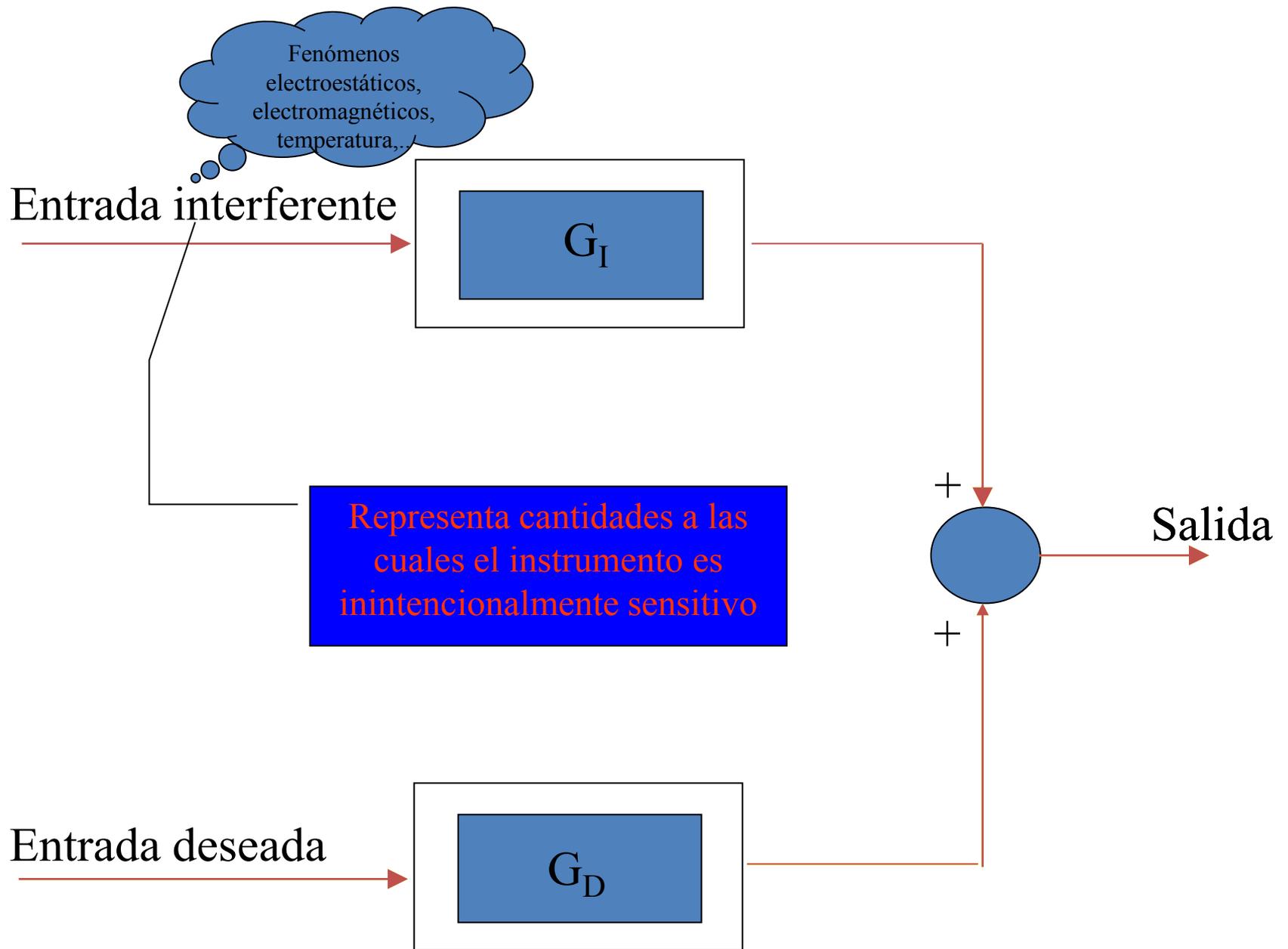
Tipos de Sensores

Criterio	Clases	Ejemplos
Aporte de Energía	Moduladores Generadores	Termistor Termopar
Señal de salida	Analógicos Digitales	Potenciómetro Codificador de Posición
Modo de Operación	De Deflexión De Comparación	Acelerómetro de Deflexión Servo acelerómetro
Según el tipo de relación ENTRADA/SALIDA	Orden cero Primer orden Segundo orden o de orden superior.	El orden está relacionado con el número de elementos almacenadores de energía independientes que incluye el sensor (repercute en su exactitud y velocidad de respuesta). Importantes en los sistemas de lazo cerrado.
Desde el punto de vista de la Ingeniería Electrónica	De acuerdo con el parámetro variable	Resistencia, Capacidad, Inductancia, sensores generadores de tensión, corriente.

Sensores	Magnitudes								
	Posición Distancia Desplazamiento	Velocidad	Aceleración Vibración	Temperatura	Presión	Caudal Flujo	Nivel	Fuerza	Humedad
Resistivos	Potenciómetros Galgas Magnetorresistencias		Galgas + masa- resorte	RTD Termistores	Potenciómetros + tubo Bourdon	Anemómetros de hilo caliente Galgas + voladizo Termistores	Potenciómetro + flotador Termistores LDR	Galgas	Humistor
Capacitivos	Condensador diferencial				Condensador variable + diafragma		Condensador variable	Galgas capacitivas	Dieléctrico variable
Inductivos y electro- magnéticos	LVDT Corrientes Foucault Resolver Inductosyn Efecto Hall	Ley Faraday LVT Efecto Hall Corrientes Foucault	LVDT + masa- resorte		LVDT + diafragma Reluctancia variable + diafragma	LVDT + rotámetro Ley Faraday	LVDT + flotador Corrientes Foucault	Magneto-elástico LVDT + célula carga	
Generadores			Piezoeléctricos + masa- resorte	Termopares Piroeléctricos	Piezoeléctricos			Piezoeléctricos	
Digitales	Codificadores incrementales y absolutos	Codificadores incrementales		Osciladores de cuarzo	Codificador + tubo Bourdon	Vórtices			SAW
Uniones p-n	Fotoeléctricos			Diodo Transistor Convertidores T/I			Fotoeléctricos		
Ultrasonidos	Reflexión	Efecto Doppler				Efecto Doppler Tiempo tránsito Vórtices	Reflexión Absorción		

Configuración general entrada-salida de los instrumentos de medición

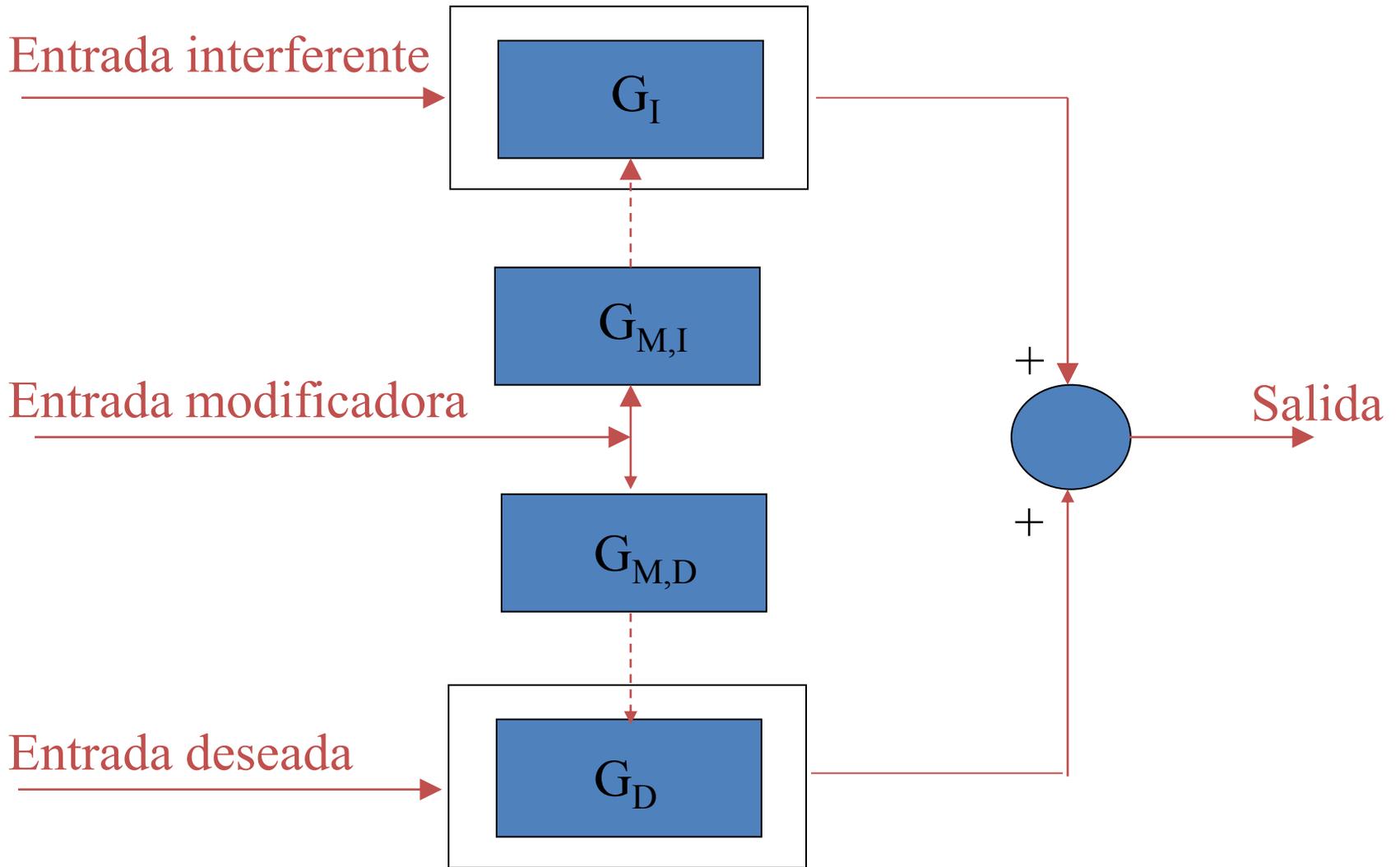




- Por ejemplo, si tiene un Puente de Wheatstone, en el que un brazo es un “strain gage” que está midiendo el esfuerzo sobre una barra, la tensión de salida deberá ser proporcional al esfuerzo medido (ε).

$$e_o = -(GF)R_g \varepsilon E_b \frac{R_a}{(R_g + R_a)^2}$$

- La presencia de campos de 60 Hz debidos a líneas de alimentación, motores eléctricos, lámparas fluorescentes, etc. pueden inducir tensiones en el circuito, y ocasionar voltajes de salida diferentes de cero para esfuerzo cero.



- Las entradas modificadoras son magnitudes que provocan un cambio en las relaciones entrada - salida de las entradas deseadas y de las interferentes.
- Por ejemplo, las variaciones de temperatura ocasionan un cambio en el valor del Factor de Galga (GF) del circuito del “strain gage”.

Métodos de corrección

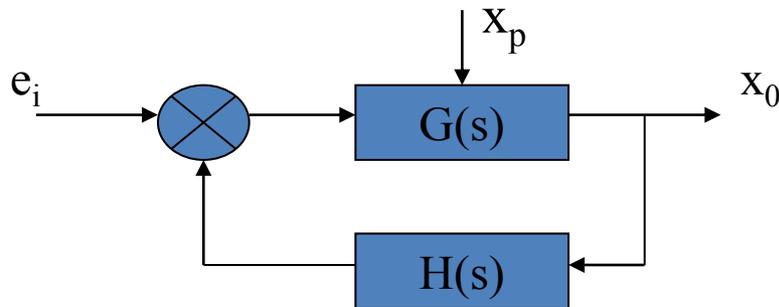
1. Método de la insensibilidad inherente.

Propone que los elementos del sistema de medición sean por diseño inherentemente sensibles sólo a la entrada deseada.

O sea, que G_I y/o $G_{M,D}$ sean lo más cercanas a cero posible.

2. Método de la retroalimentación de alta ganancia.

En este método se retroalimenta la salida del instrumento con una ganancia alta de modo que la misma resulta aproximadamente



$$x_o \approx \frac{1}{K_{FB}} e_i$$

donde:

x_o : salida del instrumento

e_i : entrada del instrumento

K_{FB} : ganancia de la retroalimentación

3. Método de las correcciones calculadas de la salida.

Implica medir o estimar las magnitudes de las entradas interferentes y/o modificadoras y la manera en que estas afectan a la salida.

De esta forma, se pueden calcular las correcciones que se deben sumar o restar en la salida para que esta (idealmente) dependa sólo de la entrada deseada.

4. Método del filtrado de señales.

Un filtro es todo dispositivo que separa señales de acuerdo con su frecuencia u otro criterio. Si los espectros frecuenciales de la señal y las interferencias no se solapan, la utilización de un filtro es efectiva.

Este se basa en la posibilidad de introducir filtros en el instrumento para bloquear las señales espurias de modo que su efecto se elimine o reduzca.

El filtro puede ubicarse en la entrada o en una etapa intermedia. En el primer caso el filtro puede ser: eléctrico, mecánico –p. ej. Para evitar vibraciones-, neumático, térmico. Los filtros ubicados en etapas intermedias son casi sin excepción filtros eléctricos.

5. Método de las entradas opositoras.

Consiste en introducir intencionalmente en el instrumento entradas interferentes y/o modificadoras que tiendan a cancelar los efectos indeseables de las entradas espurias indeseables.

Características de comportamiento de los instrumentos.

- Características Estáticas.
- Características Dinámicas.

Importancia de estas características generales

- Si usted trata de elegir un instrumento comercialmente disponible, como el mejor para una medición dada o si Ud. está involucrado en el diseño de un nuevo instrumento para una medición específica entonces deberá tener alguna base cuantitativa para comparar un instrumento con las posibles alternativas.

Características estáticas:

La instrumentación industrial tiene su terminología particular para definir las características propias de los instrumentos, de la medición, etc.

Diferentes textos y autores han utilizado diferentes términos y definiciones para ésto, lo que ha hecho necesario, con el fin de que fabricantes y usuarios empleen un mismo lenguaje, unificar los mismos.

Para esto, se han desarrollado normas, como la sugerida por la SAMA (Scientific Apparatus Makers Association), norma PMC 20, que es la que emplearemos en el curso.

- **Campo de medida (range)**
- **Alcance (span)**
- **Error**
- **Exactitud y Precisión**
- **Resolución**
- **Sensibilidad estática o ganancia**
- **Repetitividad**
- **Linealidad**
- **Histéresis**
- **Zona muerta**
- **Deriva**

Campo de medida (range)

- Conjunto de valores de la variable medida comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida o de transmisión del instrumento.
- Viene expresado por los dos valores extremos.
- Ejemplo: Para un instrumento de medición de temperatura, su campo de medida puede ser 100-300 ° C.

Alcance (span)

- Diferencia algebraica entre el valor superior y el inferior del campo de medida del instrumento.
- Ejemplo: En el instrumento del ejemplo anterior, el alcance es 200°C .

Error

- Se puede definir el error como la diferencia algebraica entre el valor leído o transmitido por el instrumento y el valor real de la variable medida.
- Error absoluto = valor verdadero - resultado
- Error relativo = error absoluto / valor verdadero

- Es decir, el error expresa una medida cuantitativa de la incertidumbre resultante en la medición.

Hay que distinguir diferentes tipos de error:

- **Error dinámico:** error en condiciones dinámicas del proceso.

El instrumento, para realizar la medición, absorbe energía del medio medido y esta transferencia requiere de cierto tiempo, lo que da lugar a retardos que provocan que el valor instantáneo de la variable y el indicado por el instrumento en ese instante de tiempo difieran.

- **Error estático:** error cuando el proceso está en régimen permanente o estado estacionario.

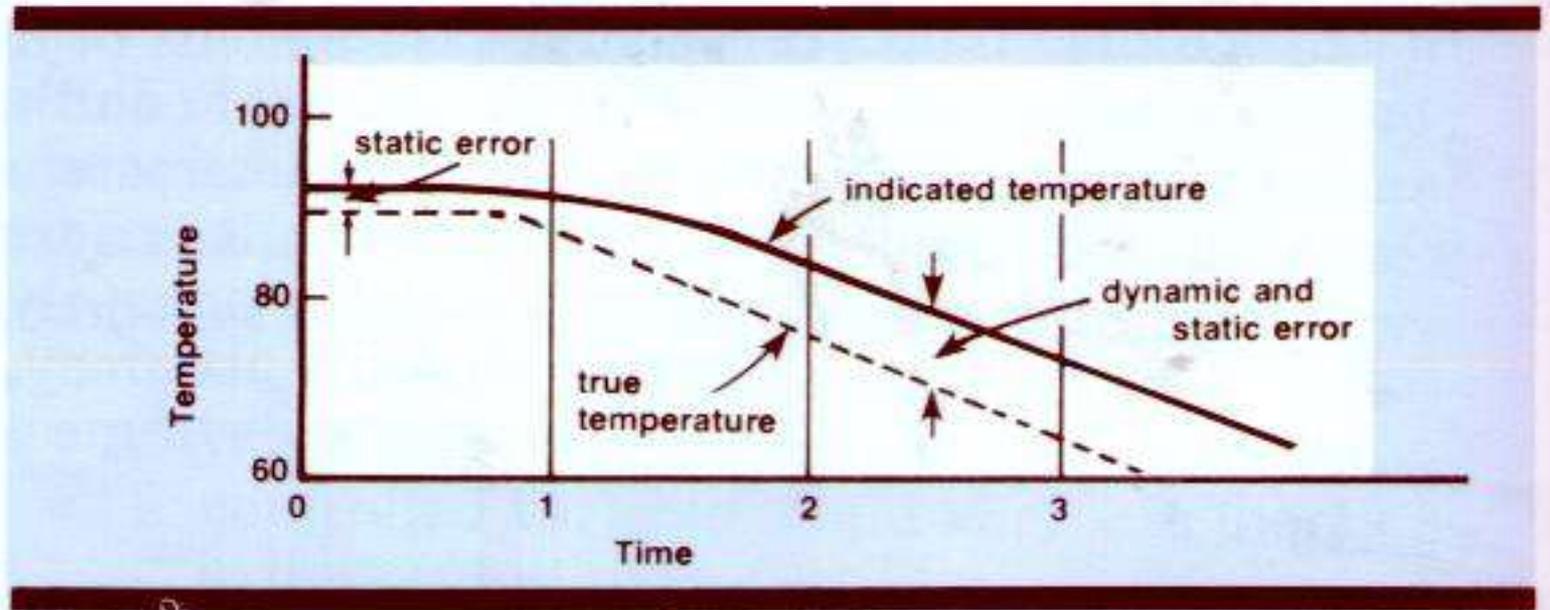


Fig. 4-4. Dynamic and Static Error

- La magnitud del error depende por supuesto de las características del instrumento (su principio de funcionamiento, construcción, etc.), de la forma de instalación, del tipo de fluido del proceso, etc., pero también depende del punto de medida, es decir, para un instrumento dado instalado en un proceso específico, el error no es el mismo en todos los puntos de su campo de medida ni si la medición se efectúa en forma creciente o decreciente.

Por esto se define el:

- Error medio: media aritmética de los errores en cada punto de medida determinados para todos los valores crecientes y decrecientes de la variable medida.

- Por otra parte, se pueden clasificar los errores de acuerdo a la forma en que se produce en:
 - a. Sistemáticos.
 - b. Aleatorios.

Errores Sistemáticos

Los errores sistemáticos son aquellos de los que se conoce la fuente que los producen y la forma en que se manifiestan. En general, los errores sistemáticos pueden calcularse, evitarse o compensarse. A su vez, los errores sistemáticos pueden ser:

- Instrumentales: propios del instrumento.
- Ambientales: debidos a la influencia del medio ambiente sobre la medición.
- De observación: dados por la tendencia del observador a leer "por arriba" o "por debajo".

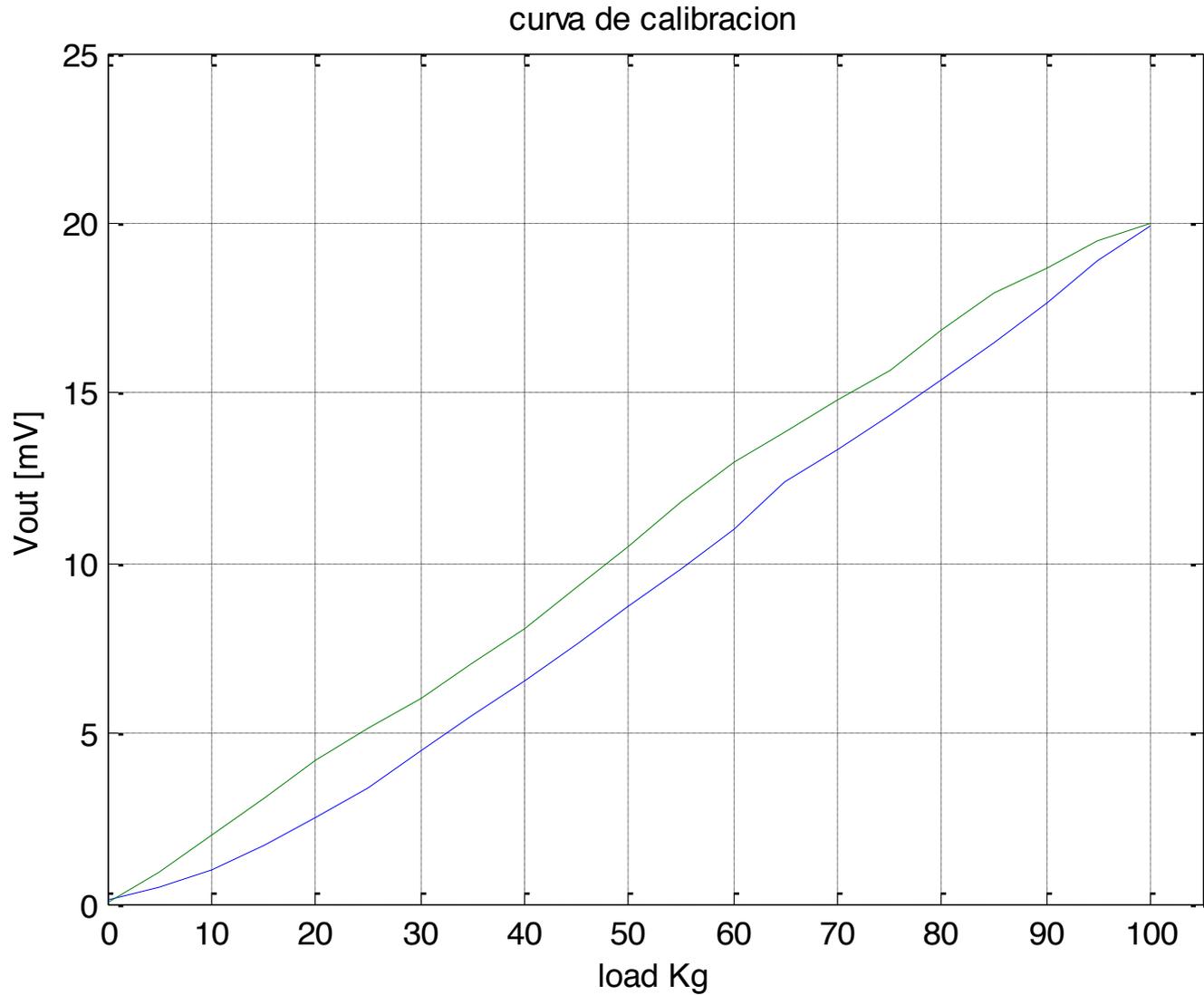
Errores aleatorios

- Los errores aleatorios son aquellos que se producen en forma completamente fortuita, procedentes de fuentes en general desconocidas y por tanto no calculables directamente.

Exactitud

- Esta característica nos especifica el error con el cual se mide. La exactitud se relaciona con la “ausencia de error” en las mediciones.
- La exactitud de un sensor se determina mediante la denominada calibración estática.
- **Curva de Calibración.** [datos_curva_calibracion.xls](#)
 - Valores conocidos (verdaderos, que pueden conocerse su trazabilidad con respecto a un estándar, pej. NIST (NBS)) de la medida son aplicados al transductor y se obtiene un valor correspondiente, los cuales son registrados en una tabla o gráfico proveídos por el fabricante.
 - La entrada es aplicada y la salida es tomada una vez que se halla estabilizado el sistema de medición.

Curva de Calibración



Exactitud (Accuracy)

- Es el término más ampliamente usado de las especificaciones estáticas.
- En ocasiones no es usado apropiadamente.
- La exactitud es especificada en términos del **porcentaje de error**.
- El **Error** es la diferencia entre la salida verdadera (correcta) del transductor y la salida actual.
- La exactitud se expresa en porcentaje del error, entonces la pregunta es con “respecto a qué?”
 - Hay tres diferentes respuestas:
 - Como porcentaje de la salida de fondo de escala (% full scale output –%FSO-)
 - Como porcentaje de la lectura (% reading)
 - Ó en términos de la entrada

Ejemplo 1

- Determine la exactitud de el transductor cuya datos de calibración son dados en la tabla 1. Expresé la respuesta en términos de % FSO y en % de la lectura.

$$V_{true} = \frac{V_{full_scale}}{load_{full_scale}} * load$$

Carga Kg	Output [mv]	
	Inc	Dec
0	0.08	0.06
5	0.45	0.88
10	1.02	2.04
15	1.71	3.10
20	2.55	4.18
25	3.43	5.13
30	4.48	6.04
35	5.50	7.02
40	6.53	8.06
45	7.64	9.35
50	8.70	10.52
55	9.85	11.80
60	11.01	12.94
65	12.40	13.86
70	13.32	14.82
75	14.35	15.71
80	15.40	16.84
85	16.48	17.92
90	17.66	18.70
95	18.90	19.51
100	19.93	20.02

Solución

1. Determinar cual sería la salida verdadera.
Asumiendo una relación lineal, la salida es:

$$V_{true} = \frac{V_{full_scale}}{load_{full_scale}} * load$$

2. Se debe calcular para cada punto de la tabla de calibración: el error, la exactitud como % FSO, y la exactitud como % de la lectura verdadera.
3. Finalmente se debe reportar el mayor de estos errores

Ejemplo 2

- Una celda de carga tiene una capacidad a plena escala de 20 mV en 100 Kg. Se especifica con una exactitud de +7.85% FSO. Cuál es el error absoluto?

- $7.85 = (\text{Error}/20) * 100$
- $\text{Error} = 20 * 7.85 / 100$

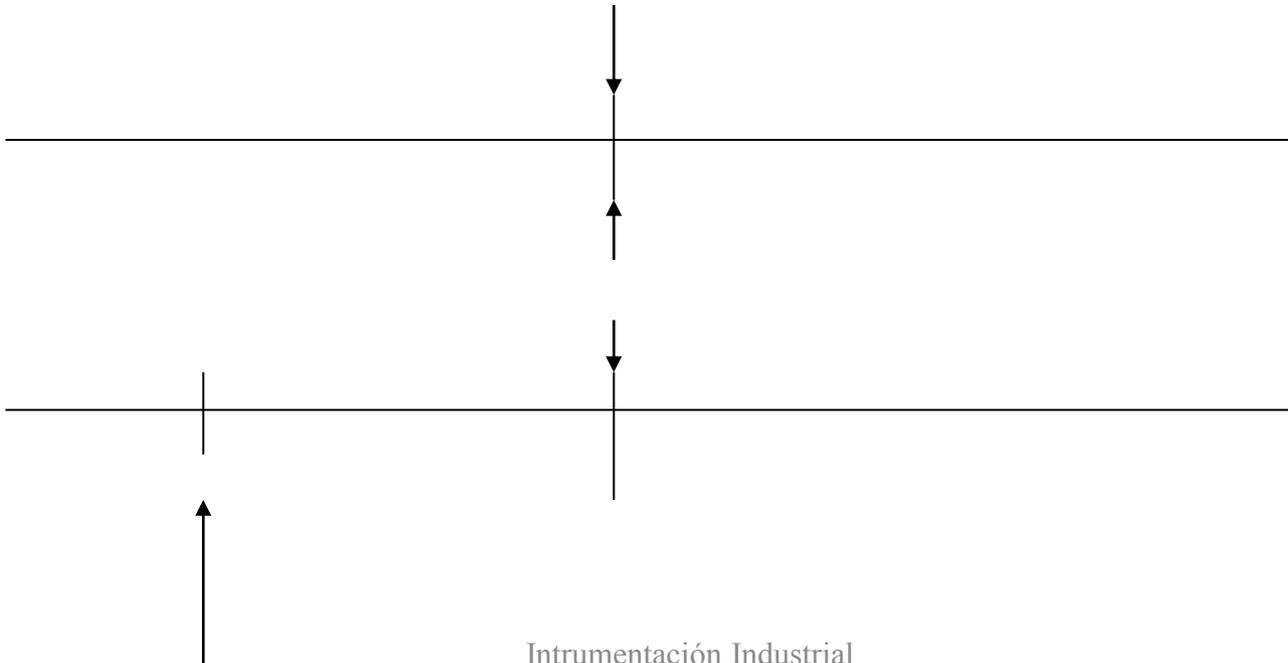
Ejemplo 3

- Es necesario medir el torque aplicado por un motor hidráulico a un eje. Se desea una exactitud de 0.1 lb-ft. El máximo torque a ser aplicado es 20 lb-ft. Hay disponible un transductor con una capacidad de plena escala de 100 lb-ft y 0.2% de exactitud. ¿Este transductor cumple la exactitud deseada?

NO
0.2% de 100lb-ft=0.2lb-ft

Precisión (La fidelidad)

- 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.



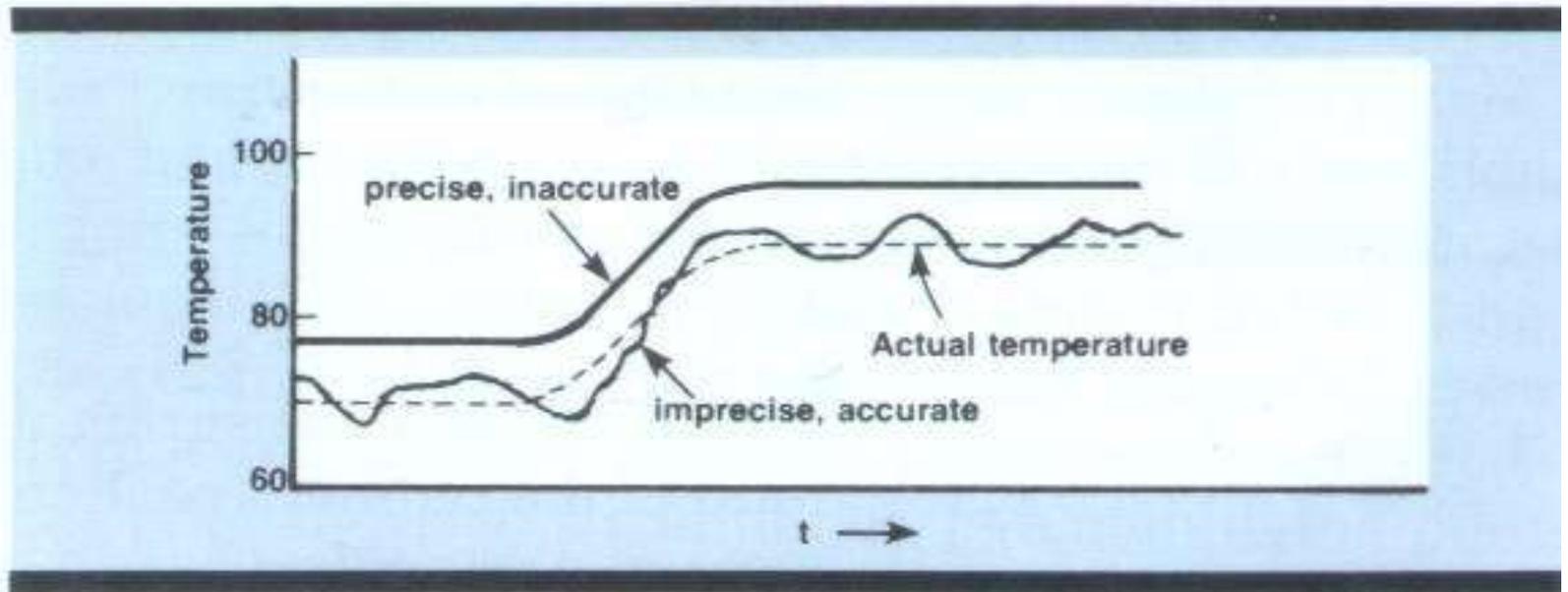


Fig. 4-3. Accuracy and Precision in a Temperature Measurement

- Hay varias formas de expresar la precisión:

a) **Tanto por ciento (%) del alcance.**

Se le llama también Clase de Precisión del instrumento.

Ejemplo: un instrumento de medición de temperatura de alcance 200 ° C y precisión ±0,5 % del alcance, para una lectura de 150 ° C, el error máximo esperado será:

$$\pm 0,5 \times 200/100 = \pm 1 \text{ ° C}$$

Luego, el valor real de la temperatura estará comprendido entre 149 y 151 ° C.

b) Directamente, en unidades de la variable medida.

Ejemplo: precisión de $\pm 1 \text{ }^\circ \text{C}$.

c) Tanto por ciento (%) de la lectura efectuada.

Ejemplo: $\pm 1 \%$ de la lectura. Si la lectura efectuada fue $150 \text{ }^\circ \text{C}$, el error máximo esperado sería $\pm 1,5 \text{ }^\circ \text{C}$.

d) Tanto por ciento (%) del valor máximo del campo de medida.

Ejemplo: $\pm 0,5 \%$ de $300 \text{ }^{\circ} \text{C}$. El error máximo esperado sería de $\pm 1,5 \text{ }^{\circ} \text{C}$.

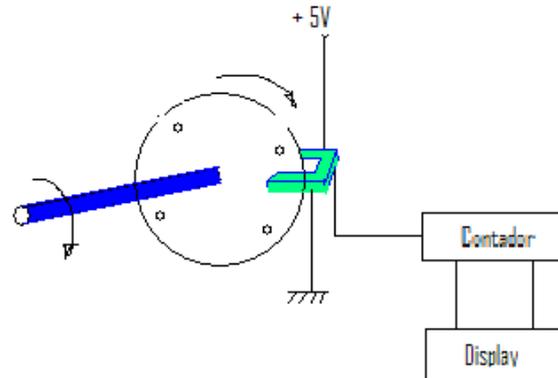
- **e) Tanto por ciento de la longitud de la escala.**
Ejemplo: Si la longitud de la escala de un instrumento es de 100 mm., una precisión de $\pm 0,5 \%$ representará $\pm 0,5$ mm. de la escala; si el alcance del instrumento es 200°C , cada mm. de la escala será $200/100 = 2^{\circ} \text{C}$, luego el máximo error esperado será de $\pm 0,5 \times 2 = \pm 1^{\circ} \text{C}$.

- Realmente, la precisión varía para cada punto del campo de medida, aunque el fabricante especifica un valor de la misma para el instrumento.
- El valor ofrecido por el fabricante será el peor valor de precisión para ese instrumento.

- En ocasiones se ofrece una precisión general del instrumento y una precisión para una zona de la escala; por ejemplo: precisión de $\pm 1\%$ para el instrumento y de $\pm 0,5\%$ para la zona central de la escala.

Resolución

- Es el más pequeño cambio en la entrada de un transductor que producirá un cambio en la salida. Es una medida de cuan cercanamente se puede medir la entrada.
- Ej. Encoder óptico



- El número de bits en un ADC determina la resolución de un instrumento de medida y es 2^n , donde n es el número de bits en la palabra binaria. Así un convertidor de 8bits puede resolver 1 parte en 256. Un ADC de 10 bits divide la señal analógica en 1024 partes, 12 bits en 4096.

Ejemplo 4

- Una guía de 2.5m de largo rota lentamente en un círculo. El motor y el engranaje sujetan a la guía por su centro. Es necesario conocer su posición cada 2 cm. Cuál debe ser la resolución del encoder óptico que posiciona la guía. Asuma que el encoder este fijado al eje sin engranaje.

Solución

- La circunferencia de un círculo es:

$$c = \pi * d$$

$$c = \pi * 2.5m$$

$$c = 7.854m$$

- Luego

$$\frac{arc}{360^\circ} = \frac{2cm}{785.4cm}$$

$$arc = \frac{360^\circ * 2cm}{785.4cm} = 0.917^\circ$$

- Así, el encoder debe tener una resolución de mínimo 0.917° . O, $\frac{360^\circ}{0.917^\circ} = 392.6$ pulsos por revolución

Ejemplo 5

- Un transductor de temperatura de $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$ se usa para medir la temperatura de una cámara que varía de 0 a 100°C . Puede un convertidor de 8 bits con una entrada de full escala de 5 V ser usado para producir una resolución de 1°C

Solución

$$\frac{5V}{2^8} = 19.5mV$$

1°C causa solamente un cambio en la entrada 10 mV

Da la impresion que el transductor no tiene suficiente resolucion.

A maxima temperatura, la salida del transductor es:

$$\frac{10mV}{^{\circ}C} * 100^{\circ}C = 1V$$

hay que amplificar la salida del transductor por 5.

un grado Celcius ahora produce

$$V = 1^{\circ}C * 10mv / ^{\circ}C * 5 = 50mV$$

$$0.39^{\circ}C$$

Repetitividad (repeatability):

- Es la capacidad de reproducción de las posiciones del índice o la pluma del instrumento al medir repetidamente idénticos valores precisos de la variable en las mismas condiciones de servicio y en el mismo sentido de variación recorriendo todo el campo de medida.
- Generalmente se considera su valor máximo y se expresa en tanto por ciento (%) del alcance. Un valor típico es de $\pm 0,1$ %.

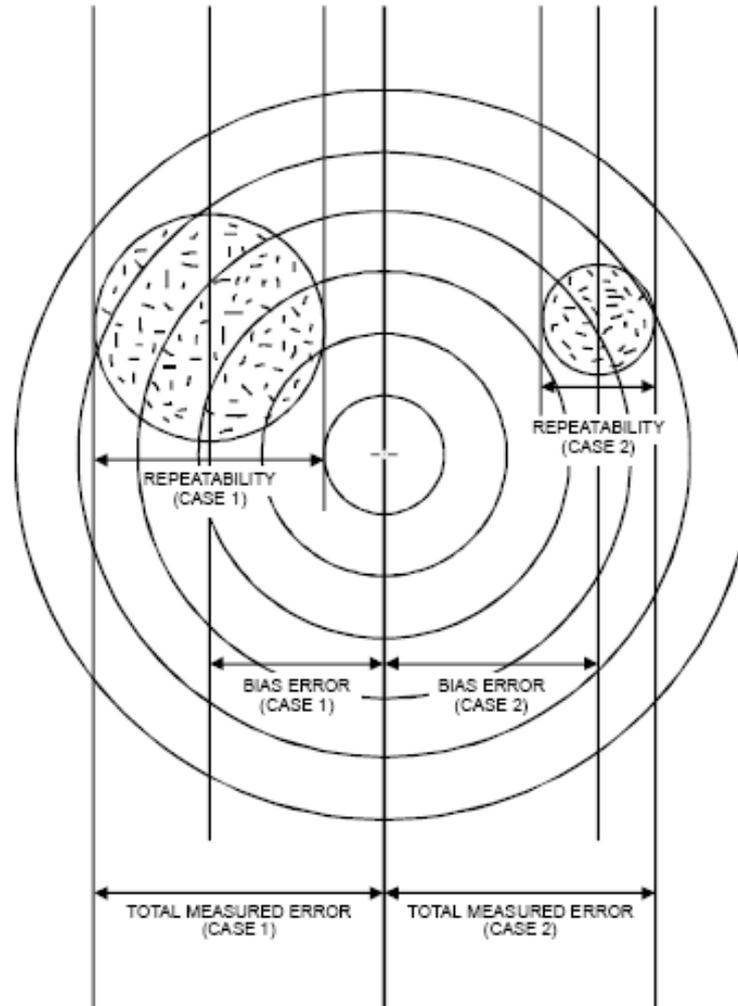
Algunos la definen como:

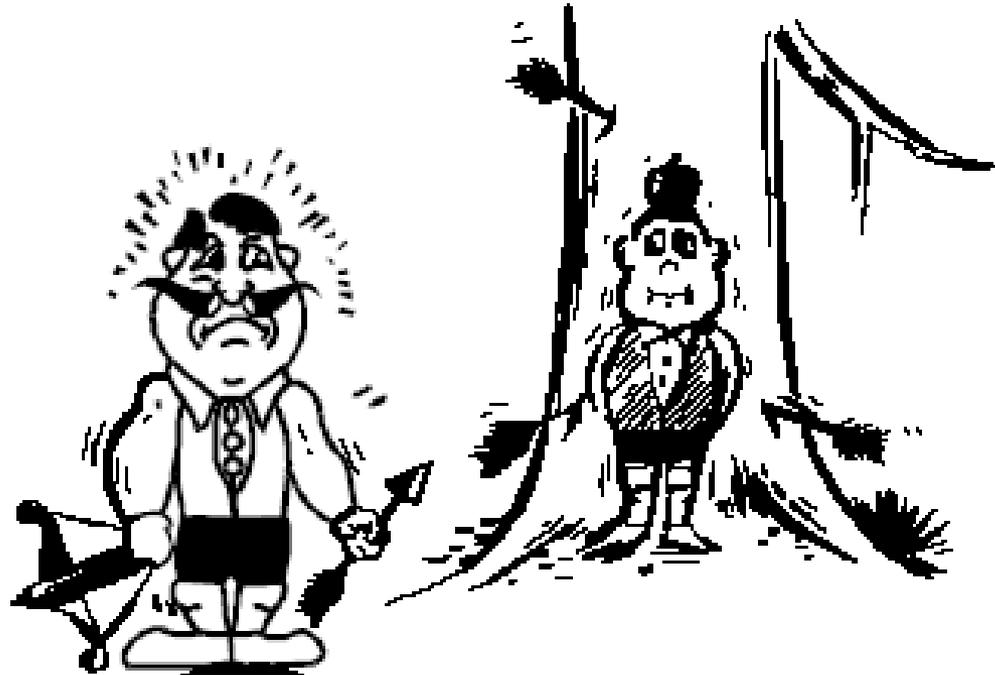
$$\text{repetitividad} = \frac{\text{máximo} - \text{mínimo}}{\text{full_scale}} * 100$$

otros como:

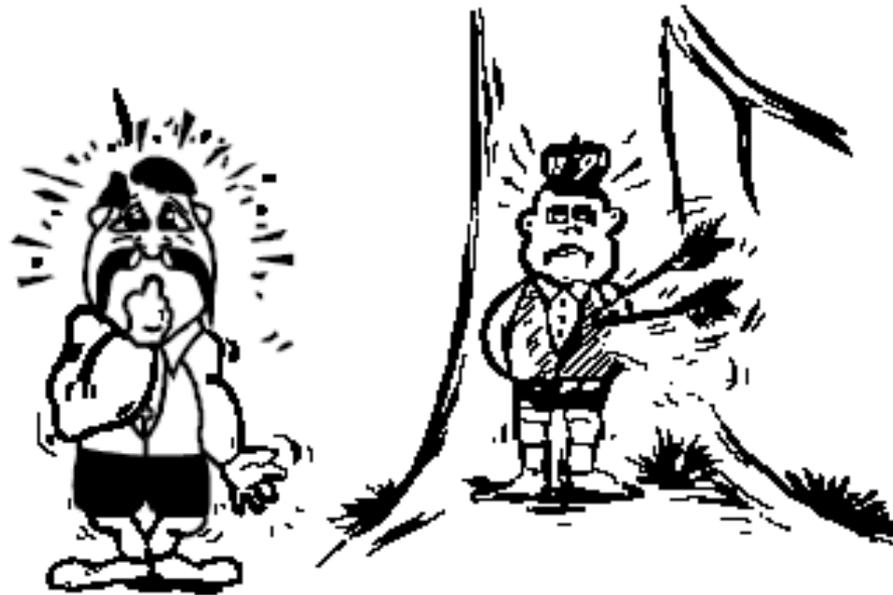
$$\text{repetitividad} = \frac{\text{mayor_desviacion} - \text{promedio}}{\text{full_scale}} * 100$$

Repetitividad





POOR REPEATABILITY MEANS POOR ACCURACY



GOOD REPEATABILITY DOES NOT NECESSARILY MEAN GOOD ACCURACY



GOOD ACCURACY MEANS GOOD REPEATABILITY

Ejemplo

- Tres celdas de carga son probadas en su repetitividad. Los mismos 50Kg son pesados en cada celda 10 veces. Los datos se muestran a continuación. Grafique estos datos y discuta sobre la repetitividad y exactitud de cada transductor.

Salida Celdas de carga (mV)

	A	B	C
1	10.02	11.5	10
2	10.96	11.53	10.03
3	11.2	11.52	10.02
4	9.39	11.47	9.93
5	10.5	11.42	9.92
6	10.94	11.51	10.01
7	9.02	11.58	10.08
8	9.47	11.5	10
9	10.08	11.43	9.97
10	9.32	11.48	9.98

Sensibilidad o factor de escala (sensitivity)

- Es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona una vez que se ha alcanzado el estado de reposo. Es la pendiente de la curva de calibración.
- Para un sensor cuya salida esté relacionada con la entrada x mediante la ecuación $y = f(x)$.

$$S(x_a) = \left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=x_a}$$

- Viene dado en tanto por ciento (%) del alcance.
- Esta especificación nos muestra en cuanto varía la salida por variación unitaria de la entrada.

Histéresis:

- Es el valor máximo de diferencia que se observa en los valores indicados por el instrumento para un mismo valor cualquiera del campo de medida cuando la variable medida recorre toda la escala en sentido ascendente y descendente.

Linealidad:

- Es el grado en que las variaciones a la salida siguen las variaciones a la entrada.
- En general es deseable tener escalas lo mas lineales posibles debido a las facilidades para la calibración.
- Un sensor lineal ideal presenta una línea recta como característica entrada- salida.
- Puede ser especificado de tres (más comunes) maneras diferentes:
 - Linealidad de puntos finales (endpoint linearity).
 - Linealidad independiente (independent straight-line linearity).
 - Linealidad de mínimos cuadrados (least squares ó best-fit ó linear regression linearity)

Linealidad mínimos cuadrados

x = valores _ de _ entrada(input _ values)

y = valores _ de _ salida(output _ values)

m = pendiente

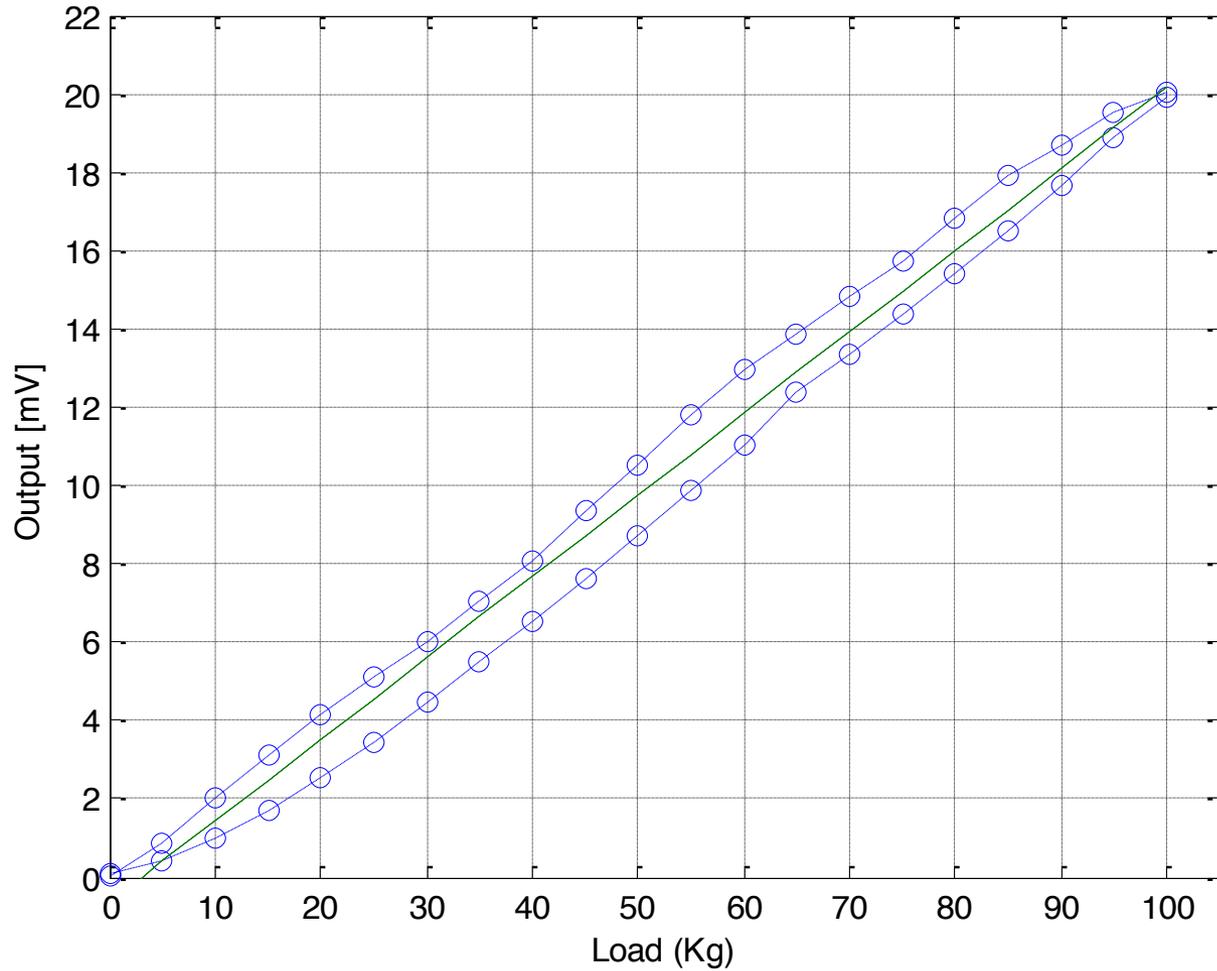
b = int ercepcion _ eje _ y

n = numero _ datos

$$m = \frac{n\Sigma(xy) - \Sigma x\Sigma y}{n\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2}$$

$$b = \frac{\Sigma y}{n} - m \frac{\Sigma x}{n}$$

Linealidad de mínimos cuadrados



$$m = 0.2079$$

$$b = -0.6368mV$$

$$v_{out} = \left(0.2079 \frac{mV}{kg}\right) * I_{input} - 0.6368mV$$

Interpolación Lineal

```
int erpl(x, y, x_new)  
int erpl(x, y, x_new, 'linear')
```

Tiempo, s *Temperatura, °F*

0	0
1	20
2	60
3	68
4	77
5	110

```
x = 0:5;
```

```
y = [0, 20, 60, 68, 77, 110];
```

```
y1 = int erpl(x, y, 2.6);
```

```
y2 = int erpl(x, y, 4.9);
```

```
int erpl(x, y, x_new, 'spline')
```

```
% Estas instrucciones comparan un modelo lineal  
% con un conjunto de puntos de datos  
%  
x=0:5;  
y=[0,20,60,68,77,110];  
y1=20*x;subplot(2,1,1),...  
plot(x,y1,x,y,'o'),title('Estimación lineal'),...  
xlabel('tiempo,s'),ylabel('Temperatura, °F'),...  
grid,axis([-1,6,-20,120])
```

```
% Estas instrucciones calculan un modelo lineal de mejor  
% ajuste a un conjunto de puntos de datos  
%  
x=0:5;  
y=[0,20,60,68,77,110];  
%  
coef=polyfit(x,y,1);  
m=coef(1);  
b=coef(2);  
ybest=m*x+b;  
%  
mse=sum((y-ybest).^2)/length(y)  
subplot(2,1,1),...  
plot(x,ybest,x,y,'o'),title('Regresión lineal'),...  
xlabel('Tiempo,s'),ylabel('Temperatura,°F'),...  
grid,axis([-1,6,-20,120])
```

```
% Estas instrucciones calculan modelos polinómicos  
% para un conjunto de puntos de datos.  
%  
x=0:5;  
y=[0,20,60,68,77,110];  
newx=0:0.05:5;  
for n=1:4  
    f(:,n)=polyval(polyfit(x,y,n+1),newx)';  
end  
plot(newx,f(:,1),x,y,'o')
```

Zona Muerta (dead zone o dead band):

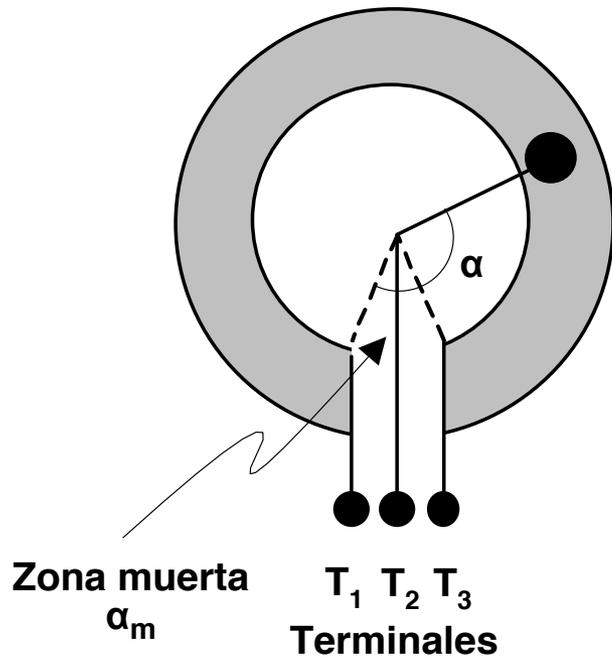
- Es el campo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal de salida del instrumento, o sea, que no produce respuesta en el mismo.
- Viene dado en tanto por ciento (%) del alcance.

Dead band and dead time

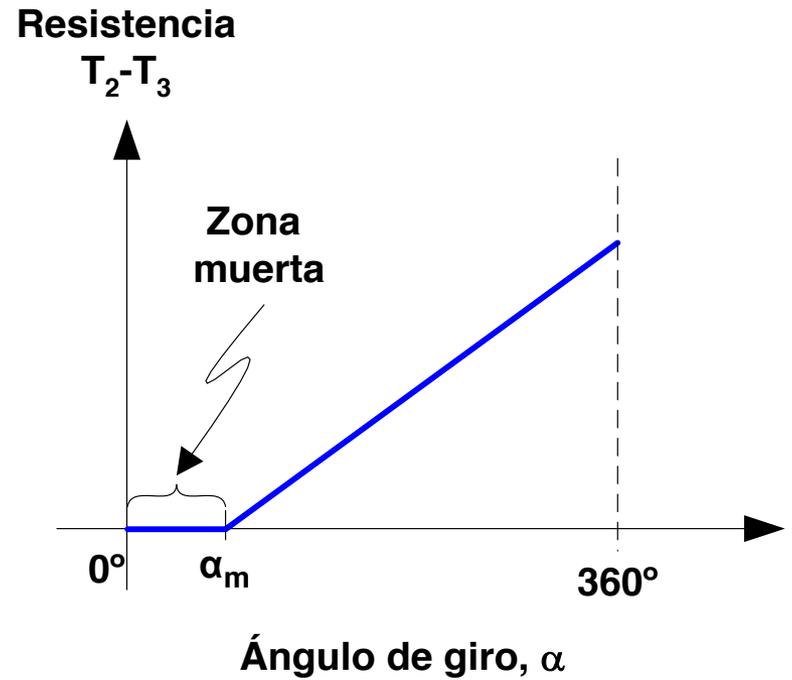
Dead band is the "unresponsiveness" of the sensor. It describes how much change to the process is required before the sensor actually responds to it or even detects it. The term sensitivity has frequently been used to denote dead band, but the terms are not truly interchangeable. Sensitivity refers to the reaction of the sensor.

Dead time applies to the time it takes for the sensor to react.

Zona muerta



(a)

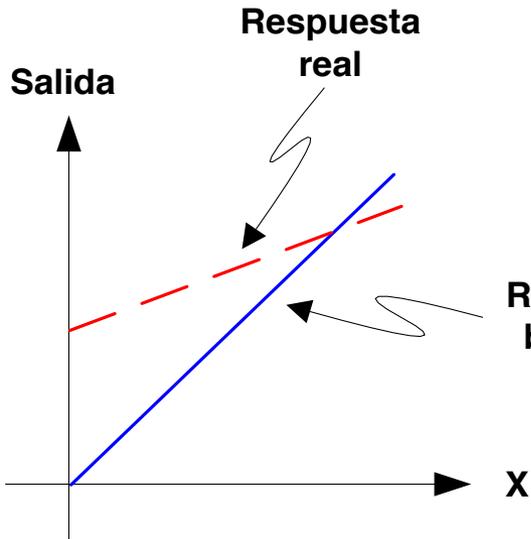


(b)

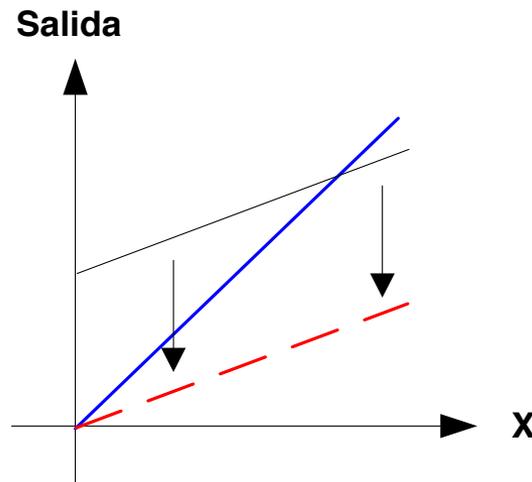
Deriva (drift):

- Es la variación en la señal de salida del instrumento en un período de tiempo determinado mientras se mantiene constante la variable medida.
- Se suele considerar la deriva de cero como la variación de la señal de salida para valor cero de la variable medida atribuible a cualquier causa interna y la deriva térmica de cero, en este caso la variación de la salida para medida cero debida únicamente a los efectos de la temperatura.

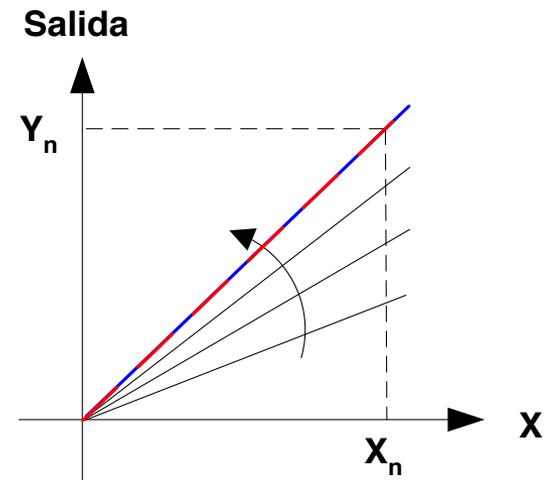
Calibración



(a)



(b)



(c)

Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este sistema de medida fue adoptado internacionalmente en la XIII y XIV Conferencia General de Pesos y Medidas que tuvieron lugar en París en 1967 y 1971 y ratificado en la III Conferencia General de la Organización Internacional de Metrología Legal.

El SI ha sido adoptado en los años subsiguientes mediante la promulgación de Leyes, Decretos, etc., por un número creciente de países y en la actualidad se puede exigir a prácticamente cualquier fabricante que los instrumentos que suministre expresen la medición en este sistema.

La principal ventaja del SI es su coherencia, pues en este sistema no son necesarios factores de conversión cuando se usan unidades fundamentales o derivadas.

Además, las expresiones de la energía en sistemas mecánicos, eléctricos y magnéticos son idénticas.

Magnitudes Fundamentales	Unidad
Longitud	metro (m)
Masa	kilogramo (kg)
Tiempo	segundo (s)
Temperatura	Kelvin (K)
Cantidad de sustancia	mole (mol)
Corriente eléctrica	ampere (A)
Intensidad lumínica	candela (cd)

Principales magnitudes derivadas:

a) Expresadas en términos de las magnitudes fundamentales:

Magnitudes derivadas	Unidades
Área	metro cuadrado (m^2)
Volumen	metro cúbico (m^3)
Velocidad	metro por segundo (m/s)
Aceleración	metro por segundo cuadrado (m/s^2)
Densidad	kilogramo por metro cúbico (kg/m^3)
Concentración	moles por metro cúbico (mol/m^3)
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo (m^2/s)

b) Expresadas en términos de otras magnitudes:

Magnitudes derivadas	Unidades
Frecuencia	hertz (Hz) o (s^{-1})
Fuerza	newton (N) o ($kg \cdot m/s^2$)
Presión	pascal (N/m^2)
Energía, trabajo, cantidad de calor	joule (J) o ($N \cdot m$)
Potencia, flujo de calor	watt (W) o (J/s)
Viscosidad dinámica	pascal·segundo (Pa·s)
Capacidad calorífica específica	joule por kilogramo·kelvin ($J/(kg \cdot K)$)
Capacidad calorífica molar	joule por mol·kelvin ($J/(mol \cdot K)$)
Energía específica	joule por kilogramo (J/kg)
Energía molar	joule por mol (J/mol)
Peso específico	newton por metro cúbico (N/m^3)

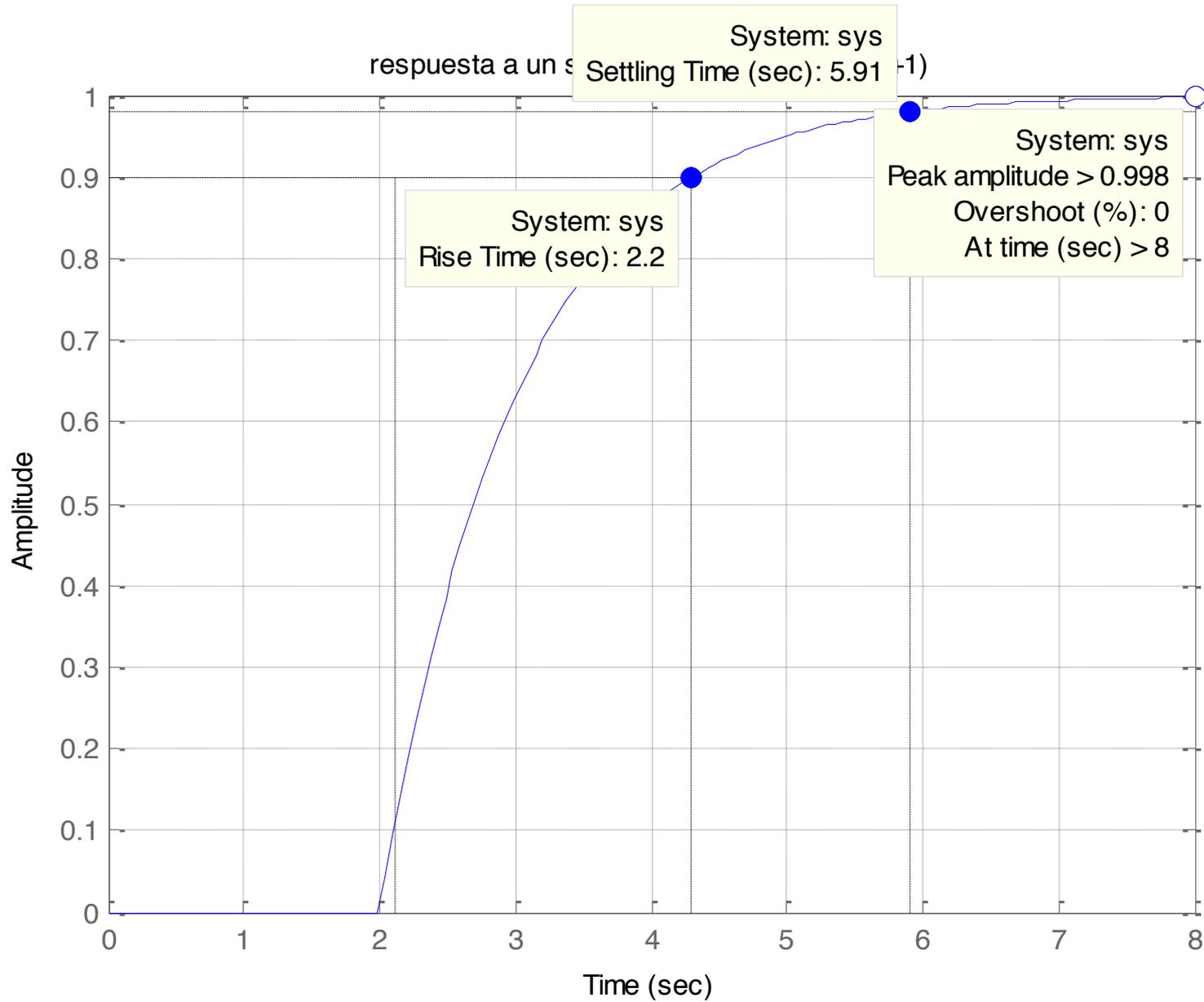
Aún cuando el Sistema Internacional de Unidades como se mencionara previamente ha sido adoptado por gran cantidad de países, fabricantes, plantas industriales, etc., existen buena cantidad de medios de instrumentación que emplean alguno de los otros sistemas, por lo que sigue siendo necesario conocer los mismos y las equivalencias entre sus unidades respectivas.

Especificaciones dinámicas

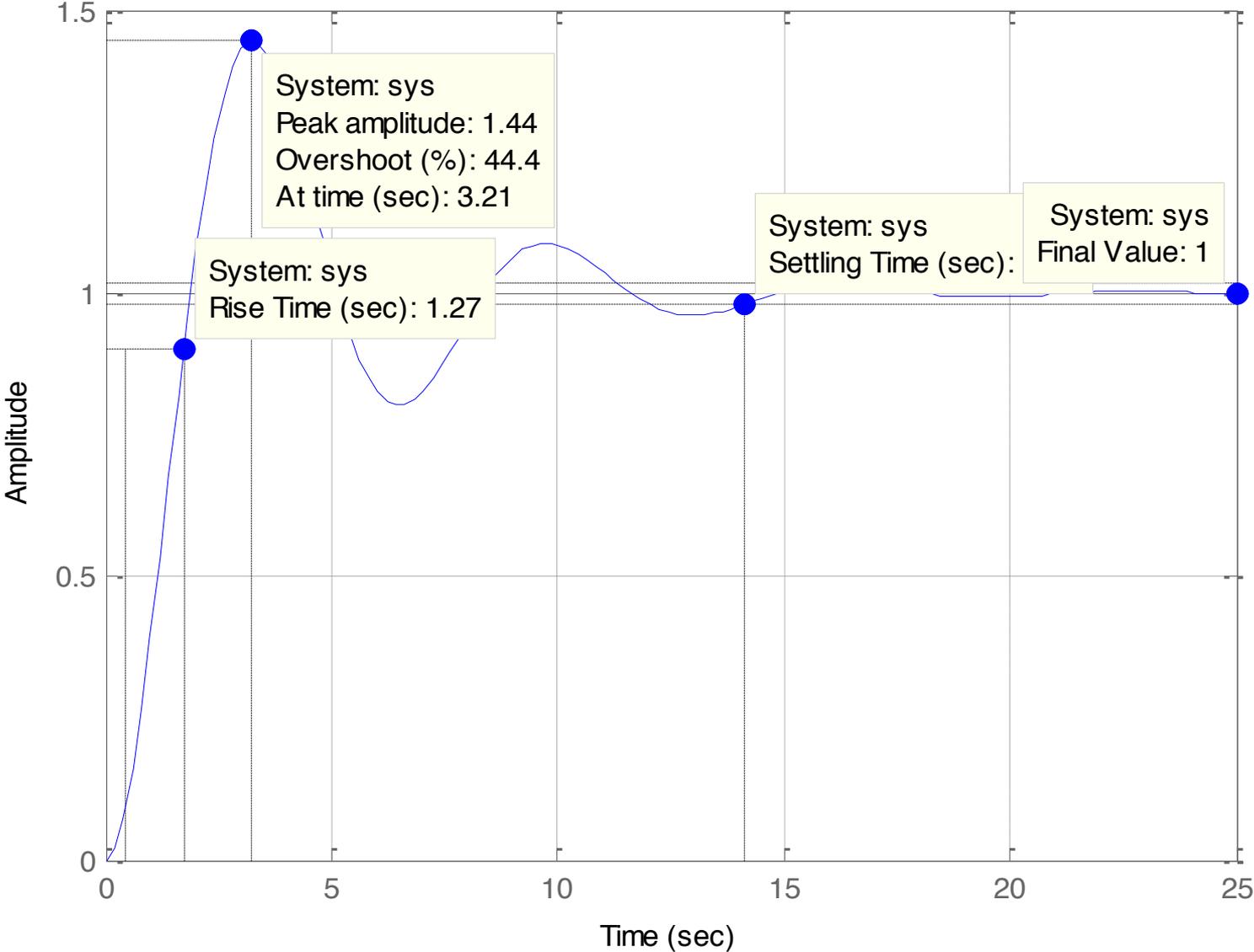
- Todas las especificaciones presentadas anteriormente fueron estáticas. Una entrada es aplicada al transductor, se permite al sistema responder y estabilizarse plenamente.
- El propósito de un transductor es sensor los cambios en su entrada y pasar esta información al controlador el cual controlará el funcionamiento del sistema.
- Por lo tanto es importante conocer cuan bien responde el transductor a los cambios en su entrada. Estas son llamadas Especificaciones dinámicas.

Especificaciones dinámicas

- El funcionamiento dinámico de un transductor puede ser descrito de dos maneras.
 - **Primero.- La respuesta del transductor a un paso** (step) unitario en su entrada es especificada por: el tiempo de subida (rise time) (t_r), constante de tiempo (τ), y el tiempo muerto (dead time) (t_d).
 - Si, el transductor es de segundo orden se especifica además: el coeficiente de amortiguación (ξ), frecuencia natural (ω_n), tiempo de estabilización (t_s), porcentaje de sobrepico (% overshoot).
 - El **segundo** tipo de especificaciones dinámicas del transductor describe la respuesta del transductor a una entrada sinusoidal. Se especifica la respuesta de frecuencia y la frecuencia de corte.



Step Response



Especificaciones dinámicas

El comportamiento dinámico de un instrumento de medida puede considerarse como un ejemplo específico del comportamiento dinámico de los sistemas.

El modelo matemático general de los sistemas dinámicos más empleado es la ecuación diferencial lineal ordinaria con coeficientes constantes.

$$a_n \frac{d^n q_0}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} q_0}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dq_0}{dt} + a_0 q_0 = b_m \frac{d^m q_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} q_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dq_i}{dt} + b_0 q_i$$

Donde: q_o = cantidad de salida
 q_i = cantidad de entrada
 t = tiempo

a_i, b_j = parámetros del sistema físico

Si se aplica la Transformada de Laplace, con condiciones iniciales iguales a cero, se tiene la ecuación:

$$(a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0) Q_o(s) = (b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0) Q_i(s)$$

Siendo la característica de la respuesta dependiente de las raíces de la *ecuación característica* del sistema:

$$a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0 = 0$$

Las raíces de la *ecuación característica* pueden ser:

1. *Raíces reales, no repetidas*

Por cada raíz real no repetida, la respuesta tendrá un término $C e^{s t}$

2. *Raíces reales repetidas*

Por cada raíz s que aparezca p veces, la respuesta tendrá un conjunto de p términos

$$(C_0 + C_1 t + C_2 t^2 + \dots + C_{p-1} t^{p-1}) e^{s t}$$

3. *Raíces complejas conjugadas, no repetidas:*

$$s_{1,2} = a \pm jb$$

por cada par de raíces , la solución tendrá un término:

$$C e^{at} \text{sen} (bt + \phi)$$

4. *Raíces complejas conjugadas, repetidas:*

$$s_{1,2} = s_{3,4} = a \pm jb$$

por cada par de raíces repetidas p veces, la solución tendrá un grupo de p términos:

$$C_0 e^{at} \text{sen} (bt + \phi) + C_1 t e^{at} \text{sen} (bt + \phi) + \dots + C_{p-1} t^{p-1} e^{at} \text{sen} (bt + \phi)$$

Es frecuente caracterizar el comportamiento dinámico del instrumento empleando el modelo en forma de función de transferencia.

Para esto debe expresarse la ecuación diferencial en “variables de desviación”. De esta manera, se cumple la definición de la función de transferencia.

$$\frac{Q_o(s)}{Q_i(s)} = \frac{b_m s^m + b_{m-1} s^{m-1} + \dots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + a_{n-1} s^{n-1} + \dots + a_1 s + a_0}$$

La ecuación diferencial presentada, y la función transferencial correspondiente, es el modelo general para todo instrumento o sistema de medición.

Ahora bien, existen algunos casos específicos que ocurren tan frecuentemente, que deben estudiarse separadamente. Aún más, sistemas más complejos tienden a ser estudiados como combinaciones de éstos.

Instrumento de orden cero:

$$a_0 q_0 = b_0 q_i$$

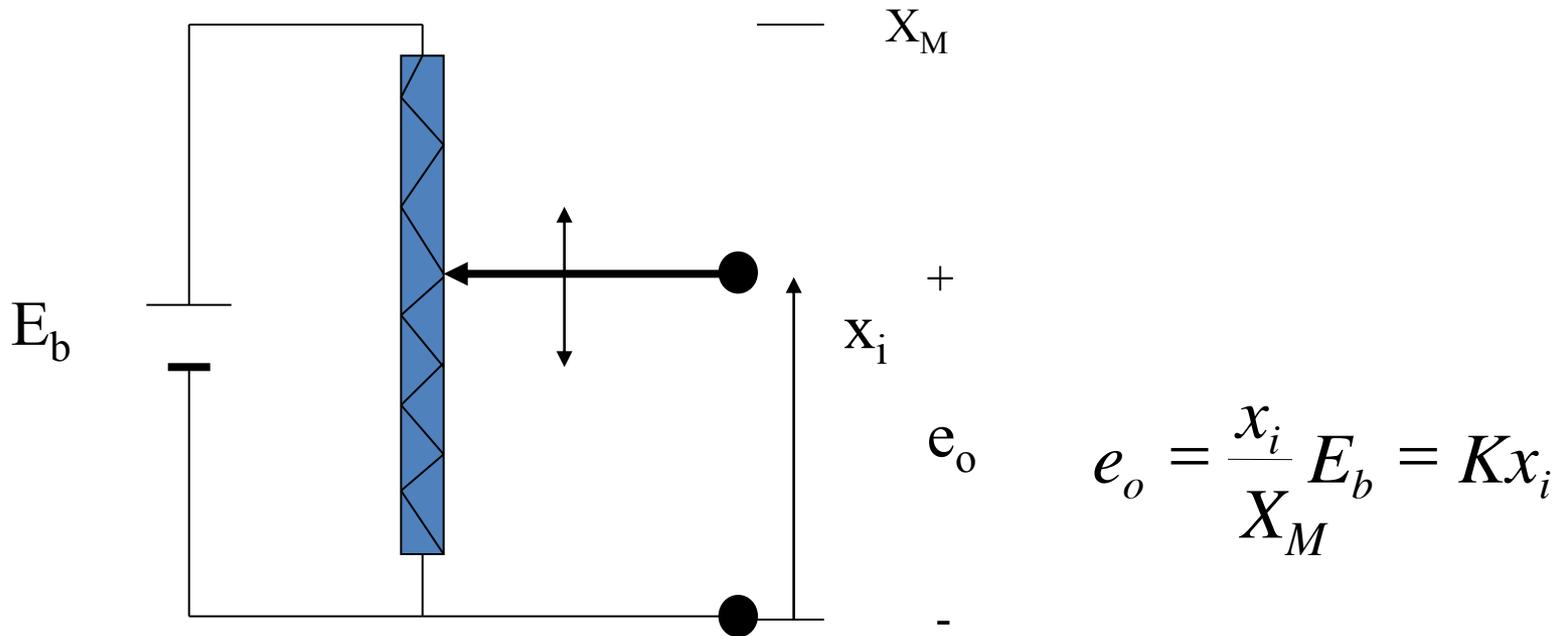
La *sensibilidad estática* (ganancia de estado estacionario) es:

$$q_0 = \frac{b_0}{a_0} q_i$$

$$K = \frac{b_0}{a_0}$$

Este modelo representa el comportamiento ideal de un instrumento. La salida sigue perfectamente la variación de la entrada.

Un ejemplo de instrumentos de orden cero es el potenciómetro de medición de desplazamiento:



Instrumento de primer orden:

$$a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_o q_o = b_o q_i$$

$$\frac{a_1}{a_o} \frac{dq_o}{dt} + q_o = \frac{b_o}{a_o} q_i$$

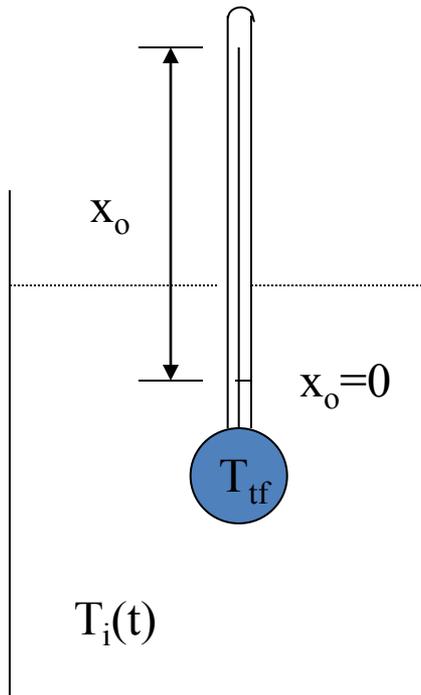
que puede expresarse como:

$$(\tau s + 1)q_o = Kq_i$$

donde:

$$K = \frac{b_o}{a_o} = \text{sensibilidad estática}$$

$$\tau = \frac{a_1}{a_o} = \text{constantede tiempo}$$

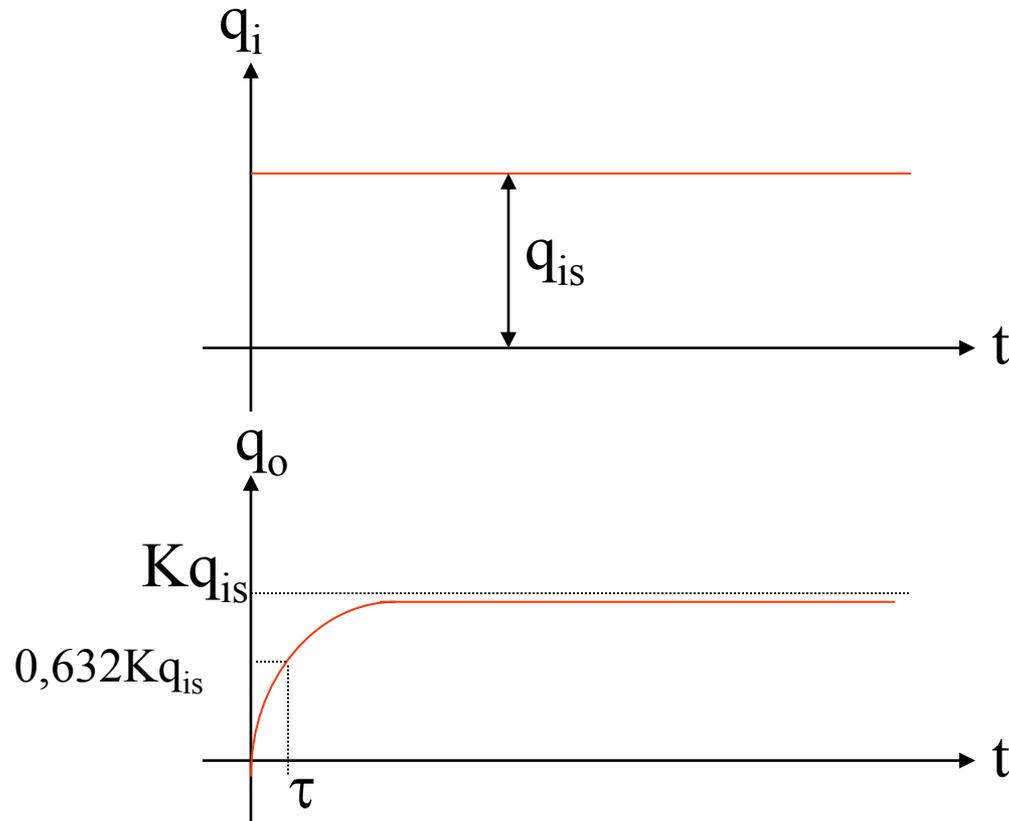


El termómetro de vidrio, midiendo la temperatura del líquido, se comporta como un instrumento de primer orden si el retardo dinámico debido a la inercia de los líquidos es despreciable en comparación con el retardo térmico de la transferencia de calor del medio medido a través de la pared del termómetro al líquido termométrico.

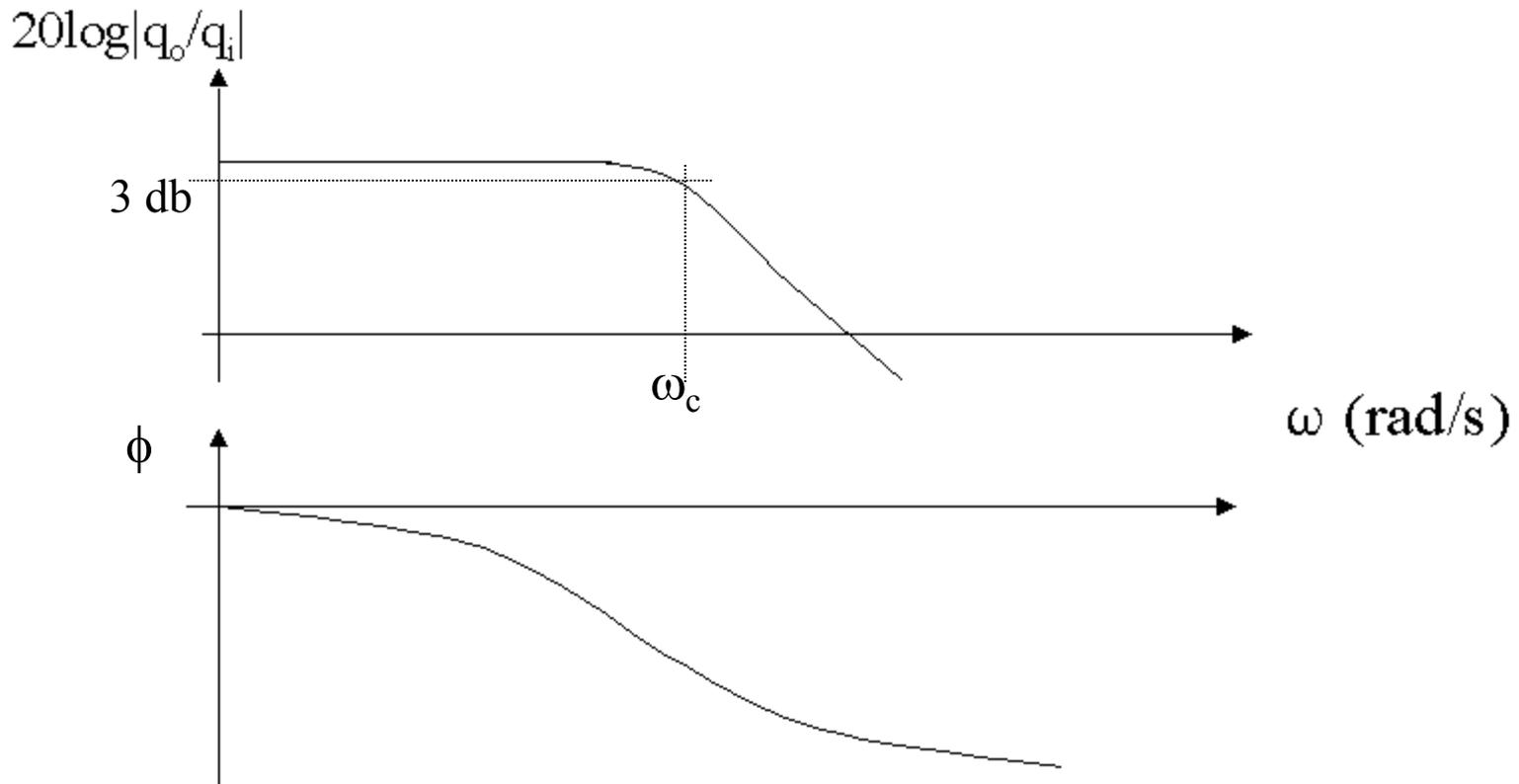
$$UA_b(T_i - T_{tf}) = V_b \rho C \frac{dT_{tf}}{dt}$$

$$x_o = \frac{K_{ex} V_b}{A_c} T_{tf}$$

La respuesta a un paso escalón de un instrumento de primer orden es:



La característica dinámica del instrumento puede analizarse mediante la respuesta frecuencial.



Instrumento de segundo orden:

El modelo matemático de un instrumento de segundo orden puede expresarse:

$$a_2 \frac{d^2 q_o}{dt^2} + a_1 \frac{dq_o}{dt} + a_0 q_o = b_0 q_i$$

llamando: $K = \frac{b_o}{a_o}$ Sensibilidad estática o ganancia

$\omega_n = \sqrt{\frac{a_o}{a_2}}$ Frecuencia natural

$\zeta = \frac{a_1}{2\sqrt{a_o a_2}}$ Coeficiente de amortiguamiento

Puede llevarse el modelo (transformando) a:

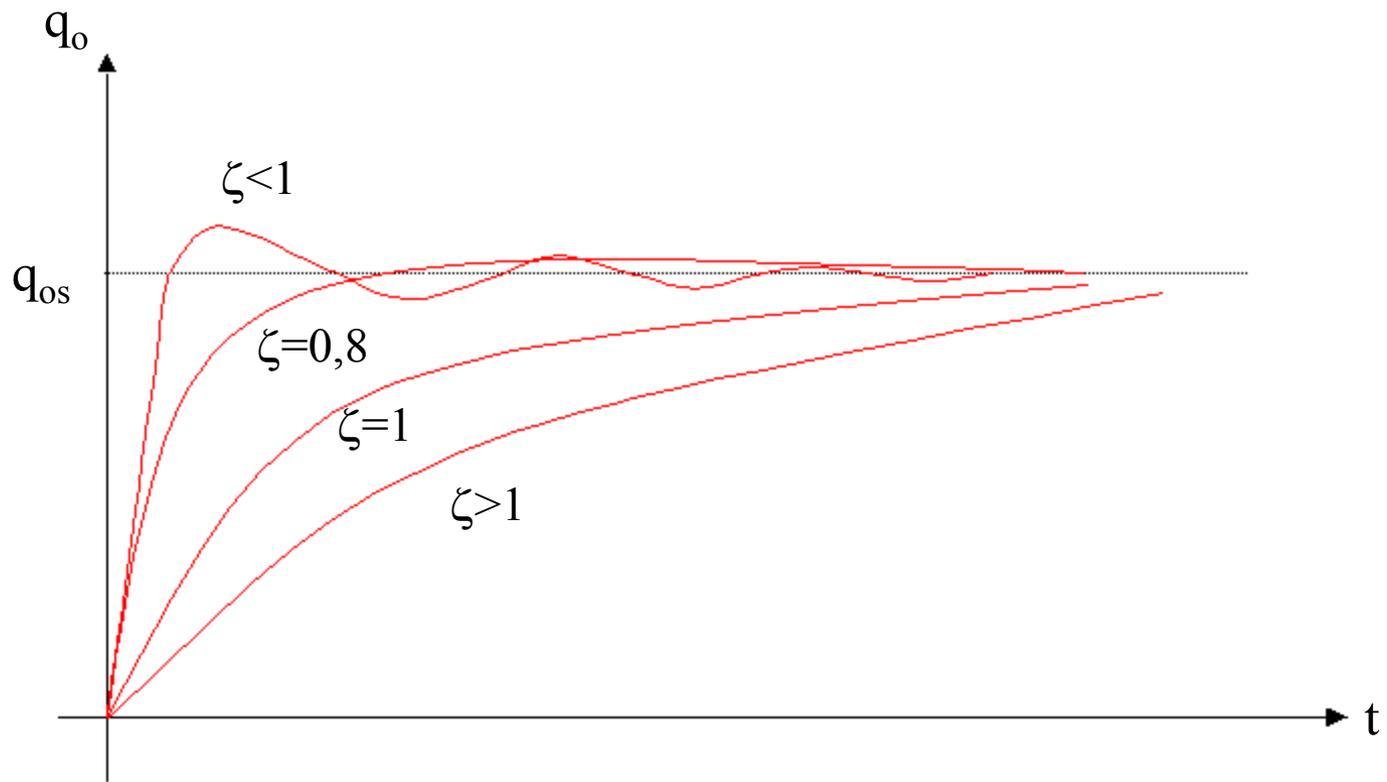
$$\frac{q_o}{q_i}(s) = \frac{K}{\frac{s^2}{\omega_n^2} + \frac{2\zeta s}{\omega_n} + 1}$$

Las raíces de su ecuación característica y por tanto la forma de la respuesta están condicionadas por el valor de ζ .

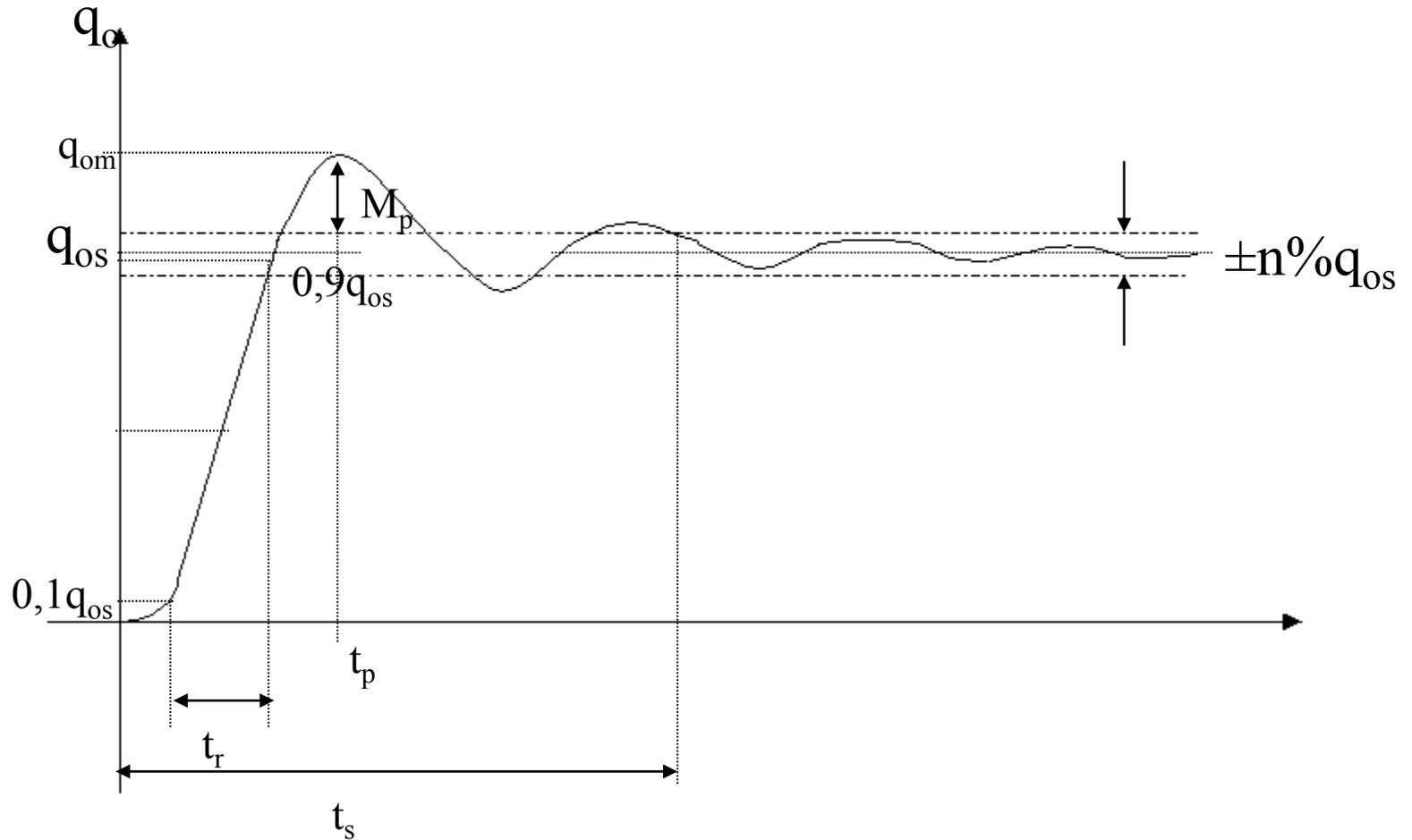
$\zeta > 1$ raíces reales y desiguales; sistema sobreamortiguado

$\zeta = 1$ raíces reales e iguales; sistema críticamente amortiguado

$\zeta < 1$ raíces complejas conjugadas; sistema subamortiguado



Especificaciones de la respuesta temporal:



Criterios generales de selección.

- La selección del transductor adecuado está determinada por las consideraciones básicas siguientes:
 - .¿Cuál es el propósito de la medición?
 - .¿Cuál es la magnitud a medir?
 - .¿Qué campo de valores se visualizará en los datos finales?
 - .¿Qué condiciones de sobrecarga pueden ocurrir durante la medición?

- .¿Con qué precisión debe efectuarse la medición?
- .¿Cuales son las características dinámicas de la magnitud a medir?
- .¿Qué respuesta de frecuencia o tiempo de respuesta debe reflejarse en los datos finales?
- .¿Cuál es la naturaleza física o química del medio donde se realiza la medición?

- .¿Dónde y cómo estará instalado el transductor?
- .¿Cómo y hasta qué punto pueden las variaciones del medio alterar la indicación del transductor?
- Otros factores que influyen en la selección son: la naturaleza del sistema de datos o procesador de señales; la disponibilidad y el costo del transductor.

P&ID

- En instrumentación y control, se emplea un sistema especial de símbolos con el objeto de transmitir de una forma más fácil y específica la información. Esto es indispensable en el diseño, selección, operación y mantenimiento de los sistemas de control.
- Un sistema de símbolos ha sido estandarizado por la ISA (Sociedad de Instrumentistas de América). La siguiente información es de la norma: ANSI/ISA-S5.1-1984(R 1992).

Las características generales de esta norma son las siguientes:

- a. Cada instrumento se identifica con un sistema de letras que lo clasifica funcionalmente y números que identifican el lazo a que pertenece.

- b. Las letras de identificación se subdividen en:
 - Primeras letras: identifican la variable medida con que se relaciona el instrumento.
 - Letras sucesivas: se refieren a la función que realiza el instrumento.

c. Los lazos de instrumentos se identifican con una secuencia de números que puede comenzar por el 1 o por cualquier número que incorpora información del área de la planta a que pertenece el lazo (ejemplo: el lazo 401 puede significar que pertenece al área 4).

Primeras Letras

Letras

Sucesivas

Variable medida	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A Análisis		Alarma		
B Llama		Libre	Libre	Libre
C Conductividad			Control	
D Densidad o peso específico	Diferencial			
E Tensión (fem)		Elemento primario		
F Caudal	Relación			
G Calibre		Vidrio		
H Manual				Alto
I Corriente eléctrica		Indicador		
J Potencia	Exploración			
K Tiempo			Estación de control	

L	Nivel		Luz piloto		Bajo
M	Humedad				Medio o intermedio
N	Libre		Libre	Libre	Libre
O	Libre		Orificio		
P	Presión o vacío		Punto de prueba		
Q	Cantidad	Integración			
R	Radiactividad		Registro		
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad		Interruptor	
T	Temperatura			Transmisor	
U	Multivariable		Multifunción	Multifunción	Multifunción
V	Viscosidad			Válvula	
W	Peso o fuerza		Vaina		
X	Sin clasificar		Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Libre			Relé o computador	
Z	Posición			Elemento final de control sin clasif.	

SIMBOLO GENERAL DE LA INSTRUMENTACIÓN

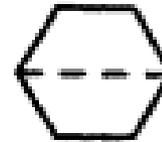
	Montado en Tablero Normalmente accesible al operador	Montado en Campo	Ubicación Auxiliar. Normalmente accesible al operador.
Instrumento Discreto o Aislado			
Display compartido, Control compartido.			
Función de Computadora			
Control Lógico Programable			

Las líneas punteadas indican que el instrumento esta
mondado en la parte posterior del panel el cual no es
accesible al operador

Instrumento Discreto



Función de Computadora



Control Lógico Programable

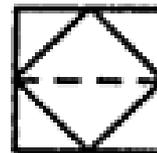


Table C-1			
T	R	C	- 2 A
First Letter	Succeeding Letters	Loop Number	Suffix
Functional Identification		Loop Identification	
Instrument Identification or Tag Number			

La identificación funcional de un instrumento esta hecha de acuerdo a su función y no a su construcción. Un registrador de diferencia de presión usado para medir flujo se identifica como *FR*; un indicador de presión y un switch actuado a presión conectado a la salida de un transmisor de nivel neumático están identificados por *LI* y *LS*, respectivamente.

En un lazo de instrumentos, la primera letra de una identificación funcional es seleccionada de acuerdo a la medida y a la variable inicial y no de acuerdo a la variable manipulada. Una válvula de control varía el flujo de acuerdo a lo dictaminado por un controlador de nivel, esto es una *LV*.

NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DE LOS INSTRUMENTOS O TAG

Cada instrumento o función para ser designada está diseñada por un código alfanumérico o etiquetas con números. La parte de identificación del lazo del número de etiqueta generalmente es común a todos los instrumentos o funciones del lazo. Un sufijo o prefijo puede ser agregado para completar la identificación.

NUMERO DE IDENTIFICACION TIPICO (NUMERO TAG)	
TIC 103	Ø Identificación del instrumento o número de etiqueta
T 103	Ø Identificación de lazo
103	Ø Número de lazo
TIC	Ø Identificación de funciones
T	Ø Primera letra
IC	Ø Letras Sucesivas
NUMERO DE IDENTIFICACION EXPANDIDO	
10-PAH-5A	Ø Número de etiqueta
10	Ø Prefijo opcional
A	Ø Sufijo opcional
Nota: Los guiones son optativos como separadores.	

SÍMBOLOS DE LÍNEAS



Conexión a proceso, enlace mecánico, o alimentación de instrumentos.



Señal Eléctrica



Señal Hidráulica



Señal Neumática



Señal electromagnética o sónica (guiada)

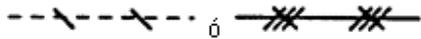


Señal electromagnética o sónica (no guiada)



Señal neumática binaria

SÍMBOLOS DE LÍNEAS



Señal eléctrica binaria



Tubo capilar



Enlace de sistema interno (software o enlace de información)



Enlace mecánico

ABREVIATURAS SUGERIDAS PARA EL TIPO DE ALIMENTACIÓN

- **AS** Alimentación de aire.
- **ES** Alimentación eléctrica.
- **GS** Alimentación de gas.
- **HS** Alimentación hidráulica
- **NS** Alimentación de nitrógeno.
- **SS** Alimentación de vapor.
- **WS** Alimentación de agua.

DESIGNACIÓN DE BLOQUE DE FUNCIONES

TABLA 3

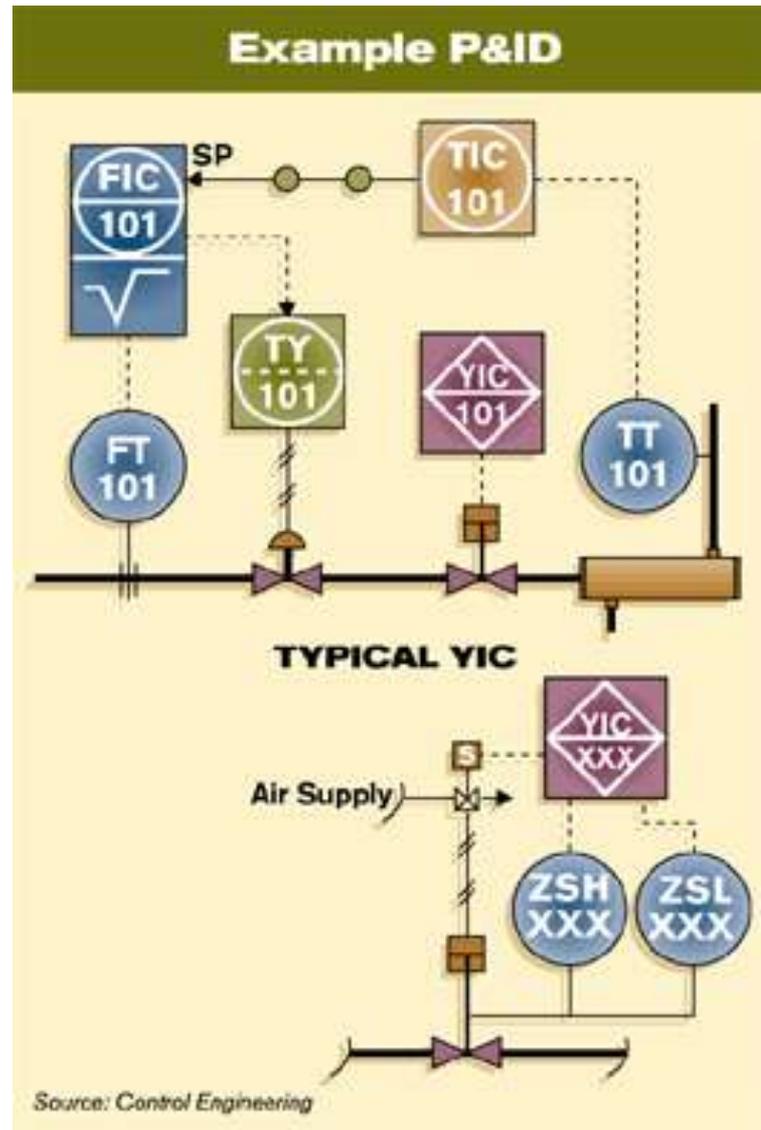
FUNCION BLOCK – FUNCION DESIGNACION					
La función designación esta asociada con controladores dispositivos computacionales convertidores y relés se usa individualmente o en combinaciones(ver tabla 1 nota 14) Las "cajas" ayudan en la ubicación de símbolos u otras marcas en diagramas y permite que la función se use solo en block de diseño conceptual					
N°	FUNCION	SIMBOLO	ECUACION	REPRESENTACION GRAFICA	DEFINICION
1	SUMA	Σ	$M = X_1 + X_2 + \dots + X_n$		La salida es la suma algebraica de las entradas. Las entradas pueden ser positivas o negativas
2	PROMEDIO	$\frac{\Sigma}{n}$	$M = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$		La salida es la suma algebraica de las entradas dividida por el numero de entradas
3	DIFERENCIA	Δ	$M = X_1 - X_2$		La salida es la diferencia algebraica de dos entradas
4	PROPORCIONALIDAD	K 1:1 2:1	$M = KX$		La salida es directamente proporcional a la entrada. En un bloque K puede ser 1:1 , 2:1 etc que reemplazan a K
5	INTEGRACION	\int	$M = \frac{1}{T_i} \int x dt$		La salida varia con ambas magnitudes y su duración. La salida es proporcional al tiempo de integración de la entrada
6	DERIVADA	d/dt	$M = T_D \frac{dx}{dt}$		La salida es proporcional a la razón de cambio de la entrada

5.4 TABLA 3 CONTINUACION					
N°	FUNCION	SIMBOLO	ECUACION	REPRESENTACION GRAFICA	DEFINICION
7	MULTIPLICACION	\times	$M = X_1 X_2$		La salida es el producto de las dos entradas
8	DIVISION	\div	$M = \frac{X_1}{X_2}$		La salida es el cociente de las dos entradas
9	EXTRAER RAIZ	$\sqrt[n]{\quad}$	$M = \sqrt[n]{X}$		La salida es la raíz n de las entradas si n es omitida se asume raíz cuadrada
10	EXPONENCIAL	X^n	$M = X^n$		La salida es igual a la entrada elevada a exponente n
11	NO LINEAL O FUNCION NO ESPECIFICADA	$M = f(x)$	$M = f(x)$		La salida es no lineal o función no especificada de la entrada
12	FUNCION TIEMPO	$f(t)$	$M = Xf(t)$ $M = f(t)$		La salida es igual a la entrada en función tiempo o al tiempo solamente

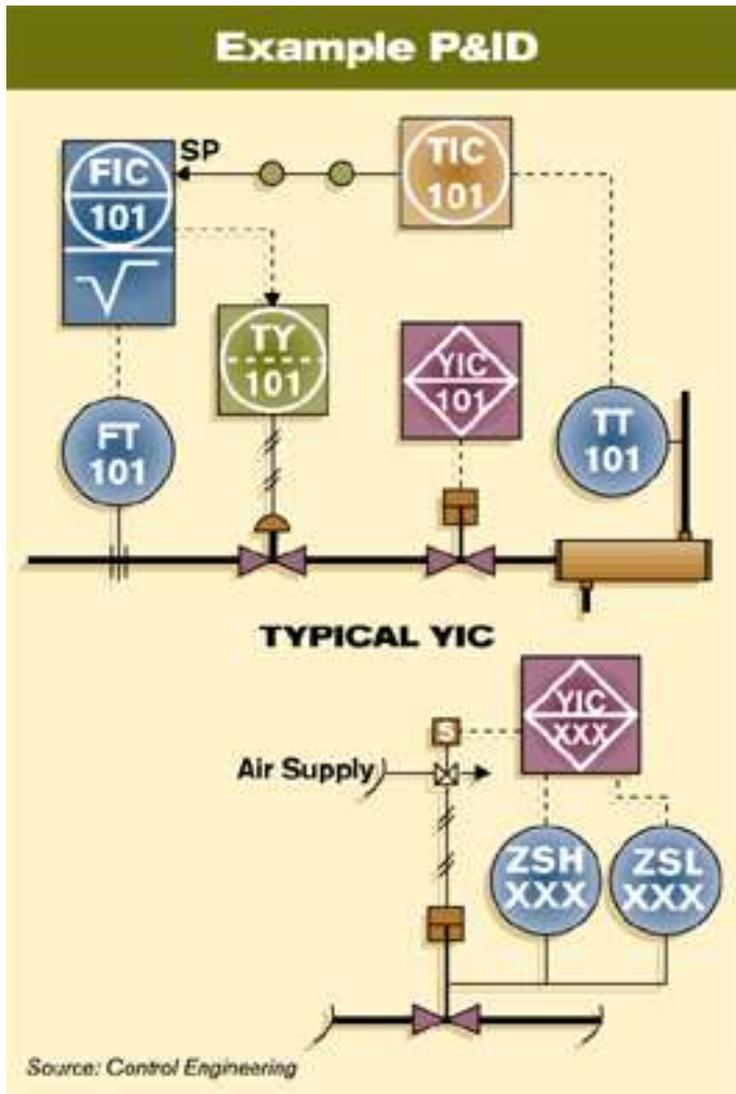
5.4 TABLA 3 CONTINUACION

N°	FUNCION	SIMBOLO	ECUACION	REPRESENTACION GRAFICA	DEFINICION
13	SELECCIÓN MAYOR	$>$	$M = \begin{cases} X, \text{ para } X1 \geq X2 \\ X2, \text{ para } X1 \leq X2 \end{cases}$		La salida es mayor que las entradas
14	SELECCIONA MENOR	$<$	$M = \begin{cases} X, \text{ para } X1 \leq X2 \\ X2, \text{ para } X1 \geq X2 \end{cases}$		La salida es menor que las entradas
15	LIMITACION MAYOR	∇	$M = \begin{cases} X, \text{ para } X \leq H \\ H, \text{ para } X \geq H \end{cases}$		La salida es igual a la entrada o al limite mayor, mientras el valor sea menor
16	LIMITACION MENOR	∇	$M = \begin{cases} X, \text{ para } X \geq L \\ L, \text{ para } X \leq L \end{cases}$		La salida es igual a la entrada o al limite menor mientras el valor sea mayor
17	PROPORCIONAL INVERSA	$-K$	$M = -KX$		La salida es inversamente proporcional a la entrada la entrada

EJEMPLOS

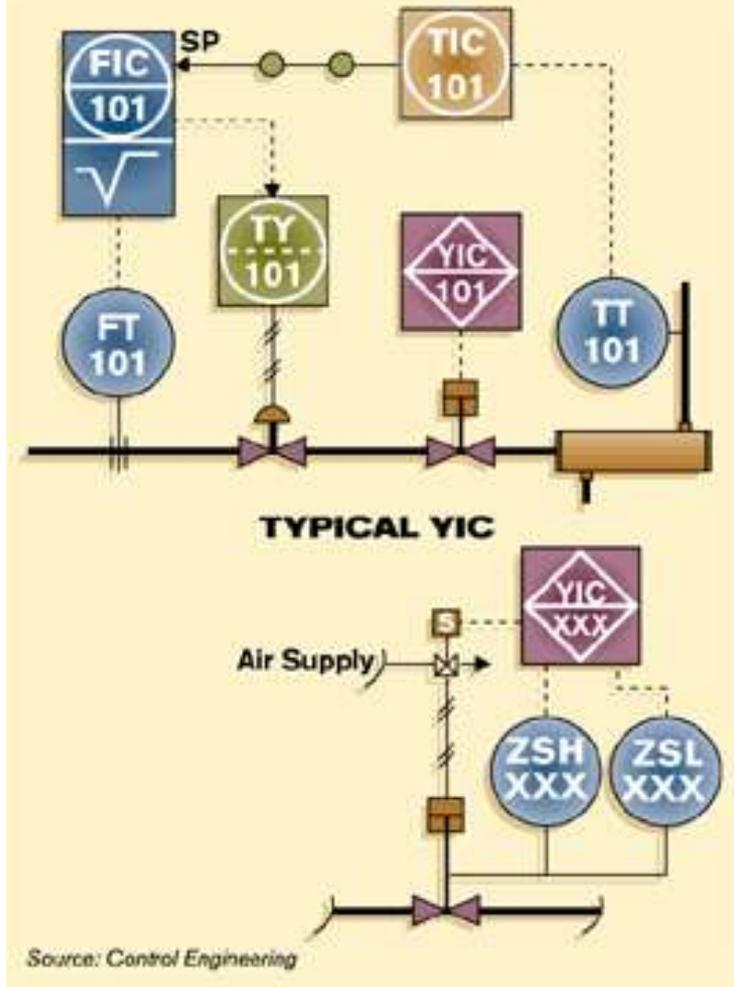


EJEMPLOS



- El FT101 representa un transmisor de flujo, montado en el campo, conectado por señales eléctricas (línea punteada) con un controlador indicador de flujo FIC101 localizado en un control/display compartido.
- Una extracción de la raíz cuadrada de la señal de entrada es aplicada como parte de la funcionalidad del FIC101.

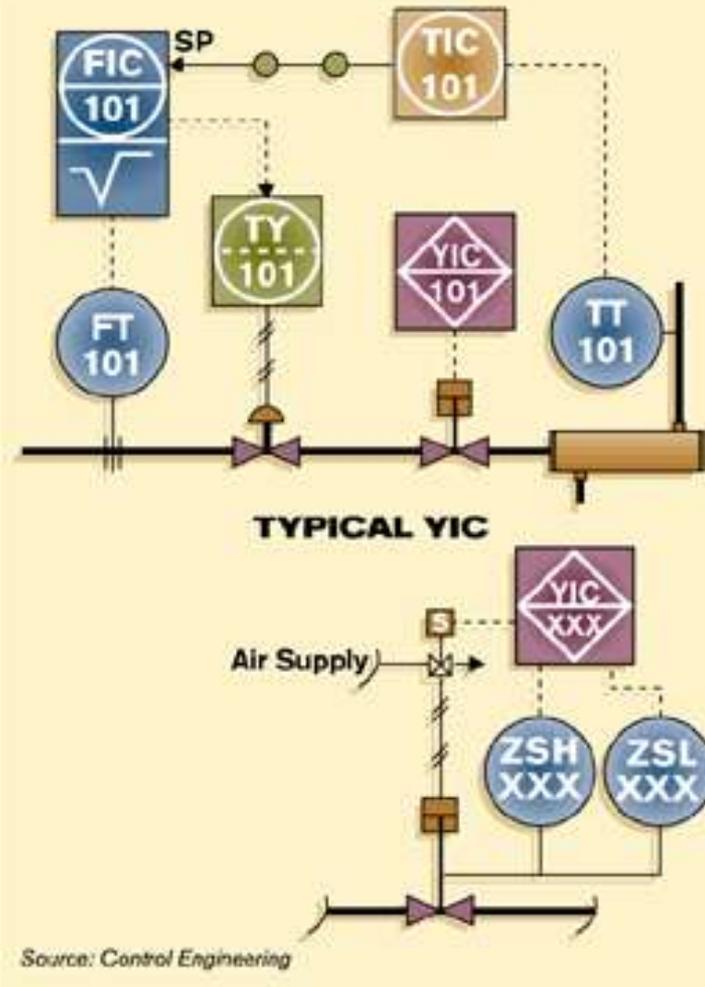
Example P&ID



- La salida del FIC101 es una señal eléctrica que va a TY101 que es una señal neumática (línea con dos marcas cruzadas) haciendo a TY101 un I/P (convertidor electro-neumático). TT101 y TIC101 son similares a FT101 y a FIC101 pero están midiendo, indicando y controlando temperatura.

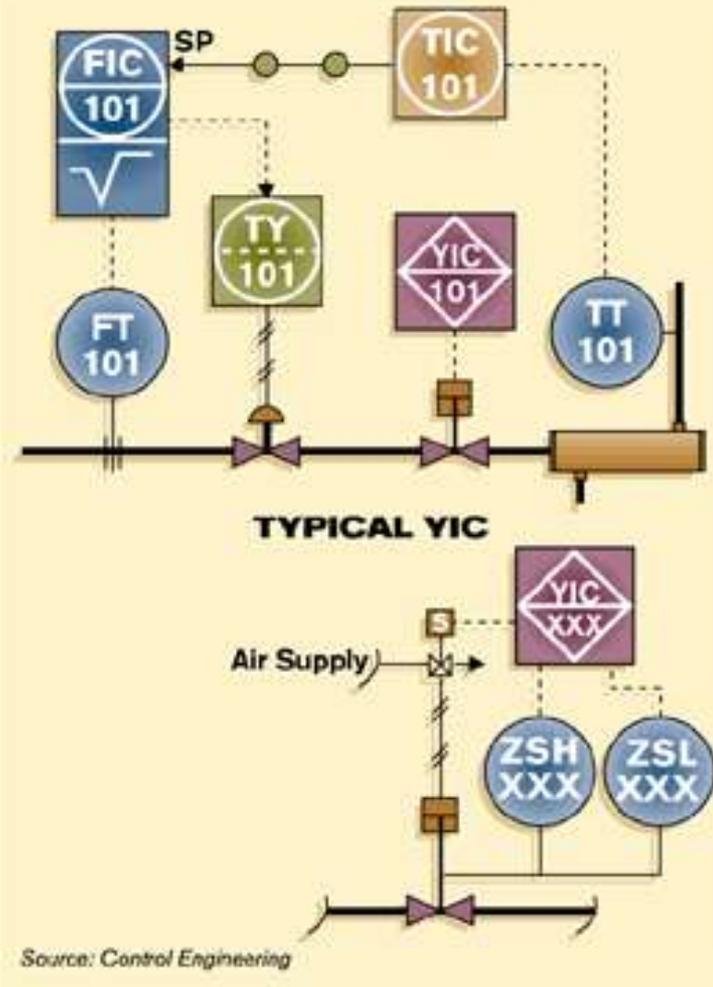
2-4

Example P&ID



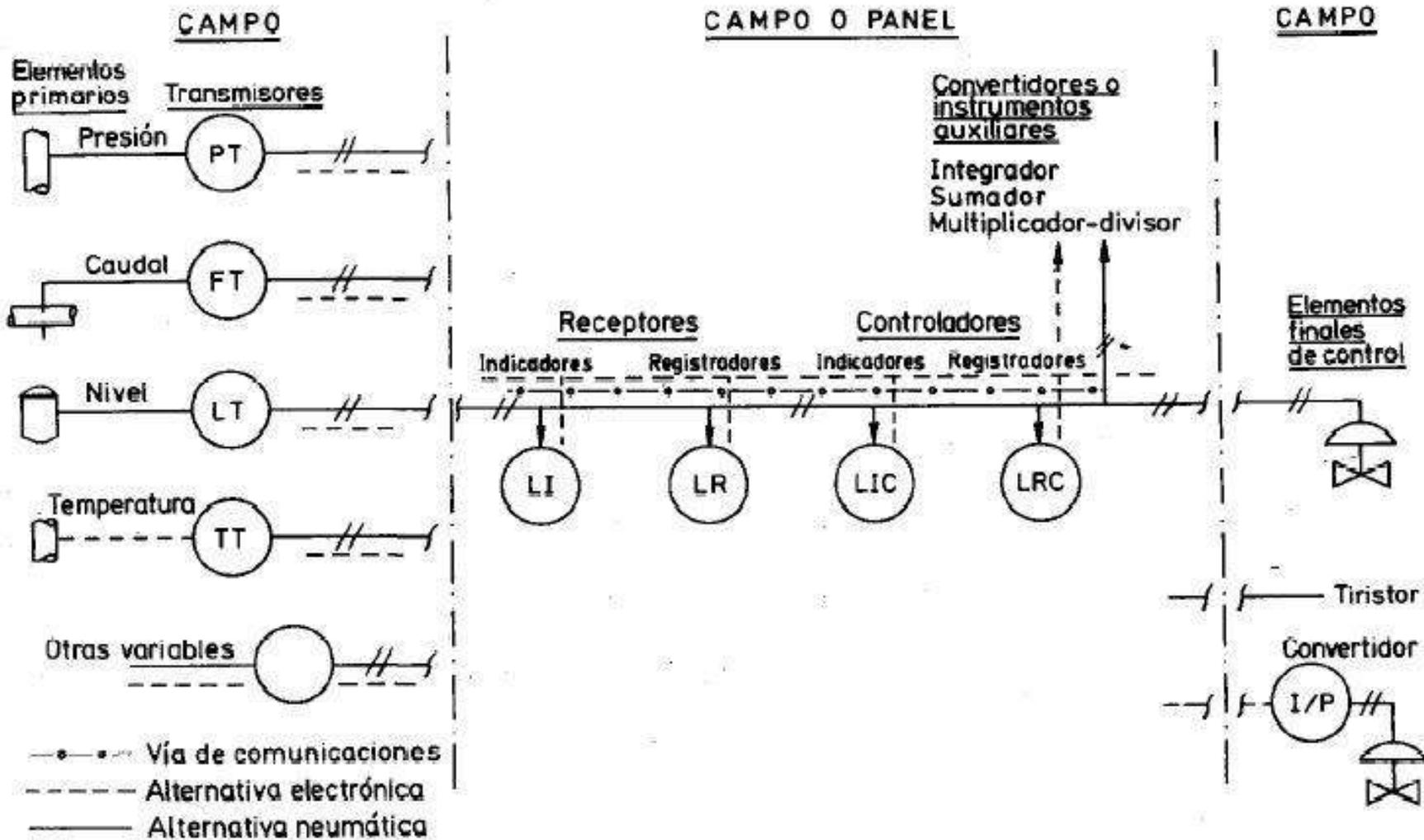
- Las salidas del TIC101 están conectadas vía enlace de sistema interno de software ó de información (líneas con burbujas) a un Set Point (SP) de FIC101 para formar un control estratégico en cascada.
- Un **YIC** típico está provisto de una válvula ON/OFF que es controlada por una válvula solenoide y es alimentada con switches limitadores para indicar las posiciones (ZSH) abierto y (ZSL) cerrado. 3-4

Example P&ID



- Todas las entradas y salidas están cableadas al PLC que es accesible al operador. (diamante dentro de un cuadrado con una línea horizontal).
- La letra ‘Y’ indica un evento, estado, ó presencia. La letra ‘I’ refiere a que la indicación está provista, y la letra ‘C’ significa que el control se lo toma desde este aparato.

4-4




Globo, compuerta
u otra

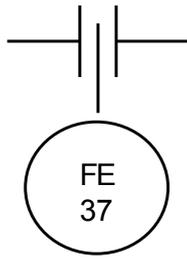

Angulo


Mariposa

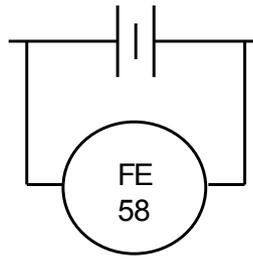

Válvula de
bola


Tres vías

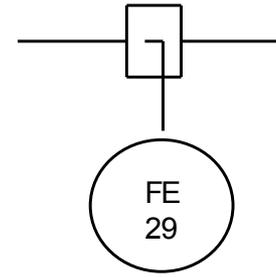
Figura 1.3 Símbolo de las válvulas



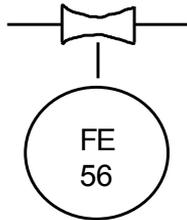
placa orificio con
tomas en la brida
o en la cámara
anular



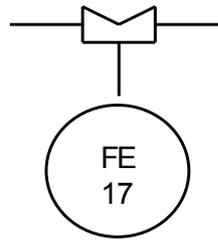
placa orificio con
tomas en la vena
contraída, radiales
o en la tubería



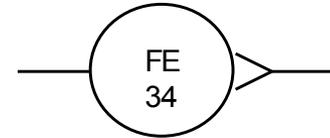
tubo pitot



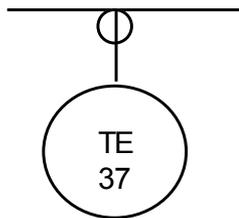
tubo venturi o tobera



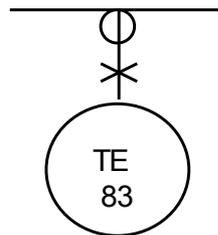
vertedero



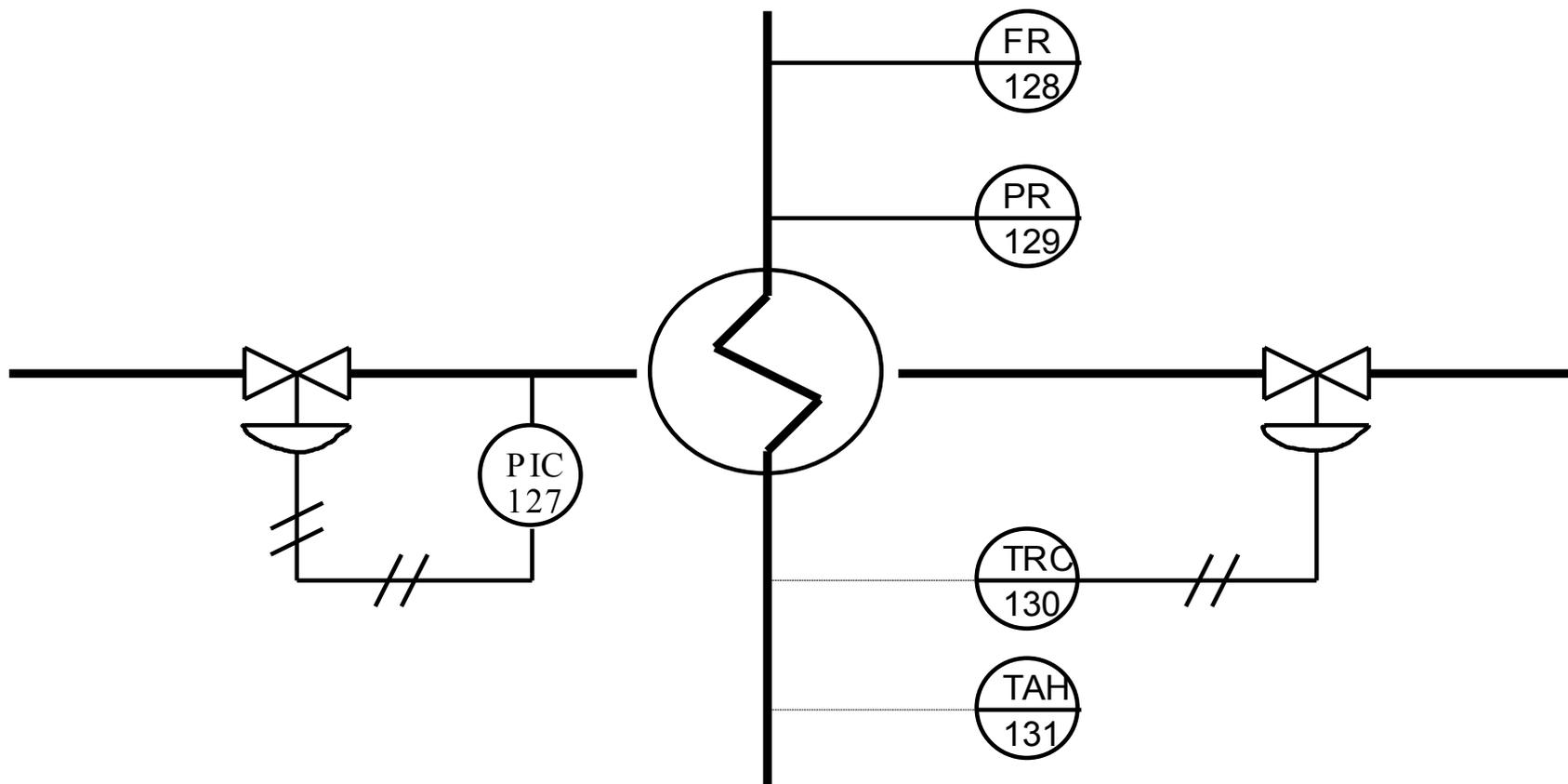
rotámetro indicador



elemento de temperatura
con vaina



elemento de temperatura
de bulbo y capilar con vaina



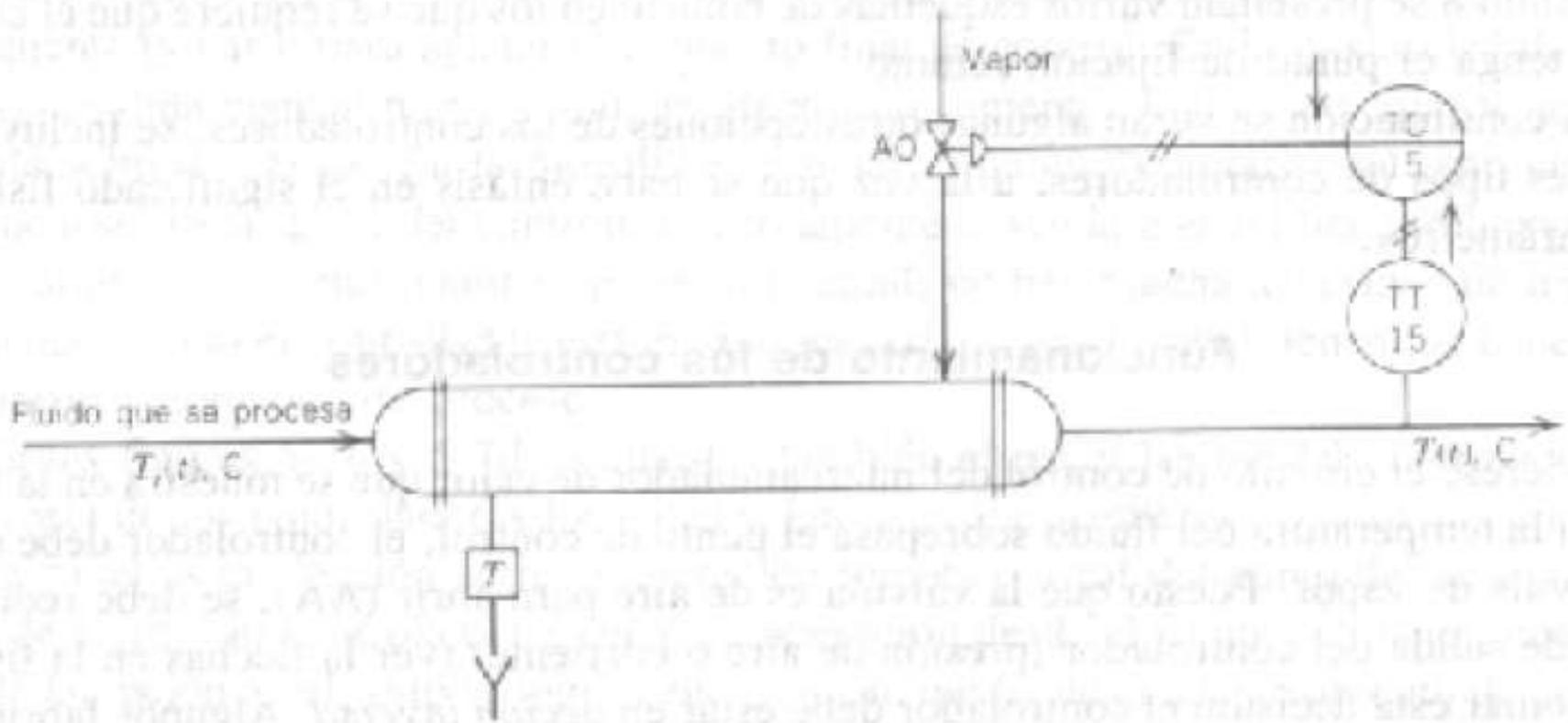


Figura 5-8. Circuito de control para intercambiador de calor.

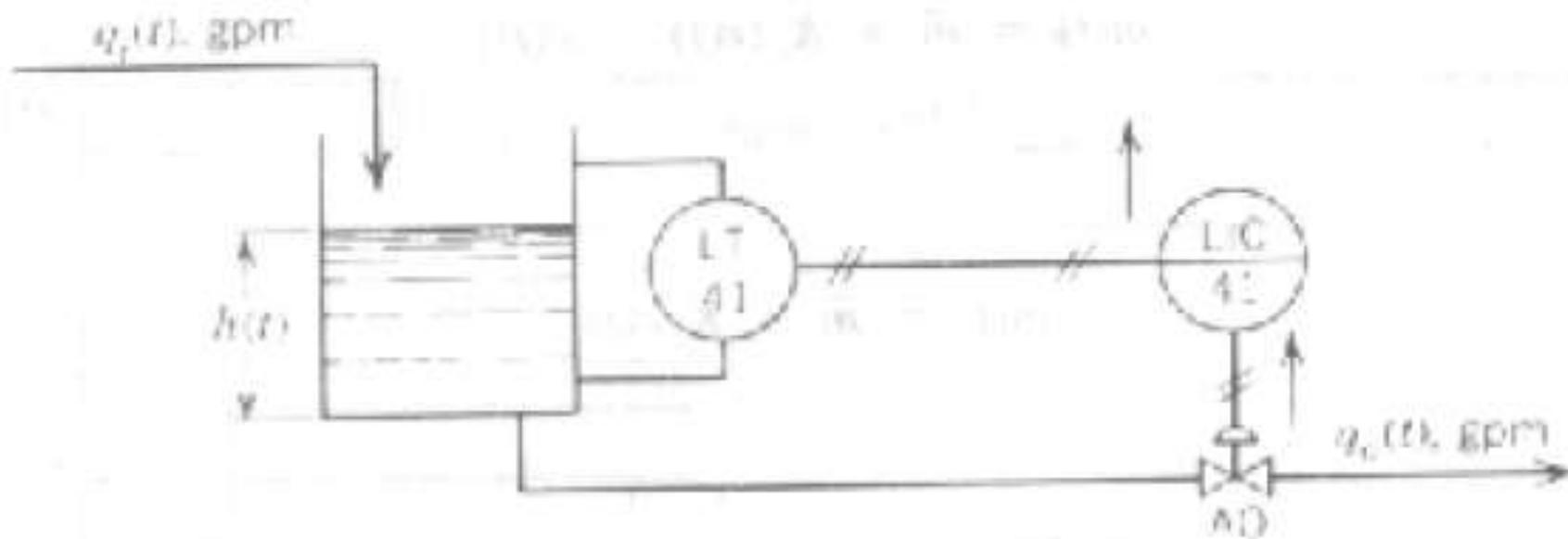
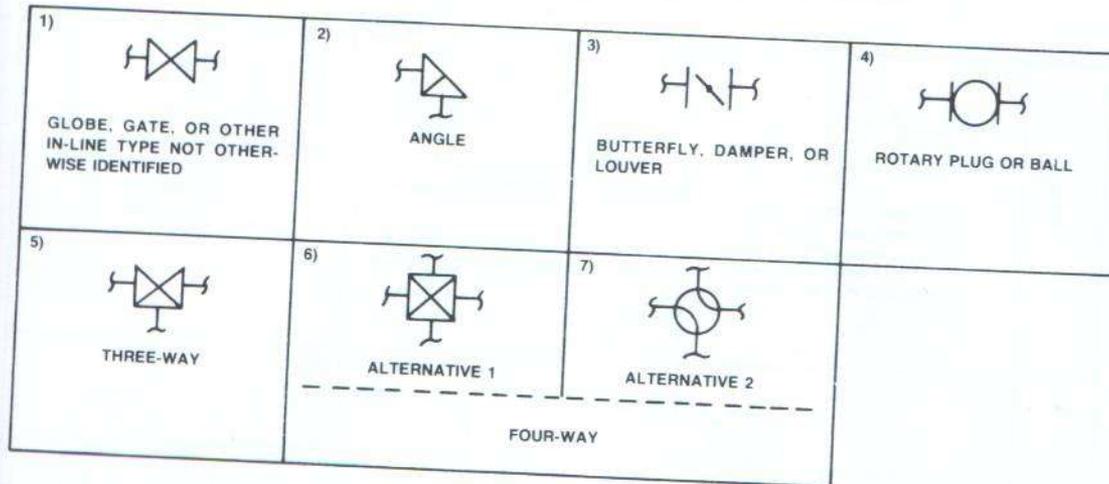
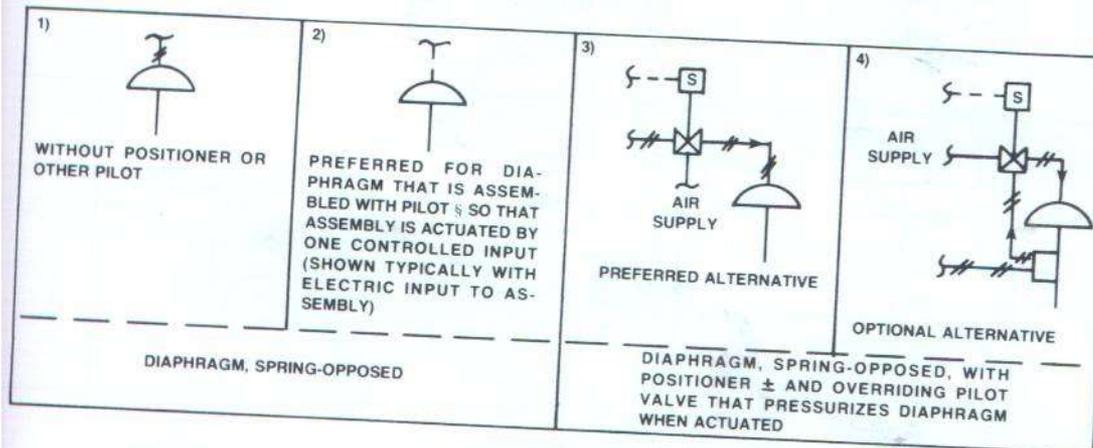


Figura 5-9. Circuito para control de nivel de líquido.

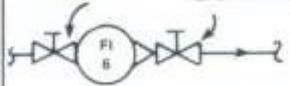
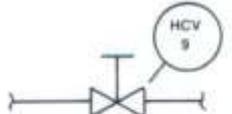
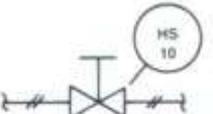
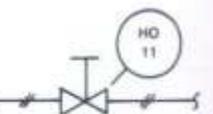
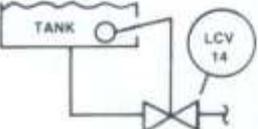
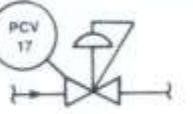
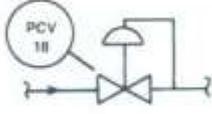
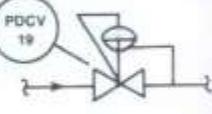
CONTROL VALVE BODIES

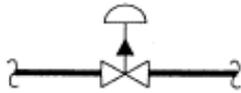


ACTUATORS

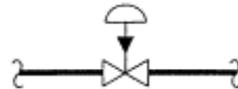


SELF-ACTUATED REGULATORS, VALVES, AND OTHER SERVICES

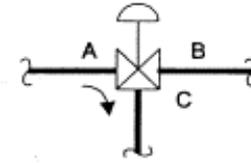
FLOW	<p>1)</p>  <p>AUTOMATIC REGULATOR WITH INTEGRAL FLOW INDICATION. TAG REGULATOR FICV-5 IF IT DOES NOT HAVE INTEGRAL FLOW INDICATION.</p>	<p>2)</p> <p>(UPSTREAM ALTERNATIVE) (DOWNSTREAM ALTERNATIVE)</p>  <p>INDICATING ROTAMETER WITH INTEGRAL MANUAL THROTTLE VALVE</p>	
HAND	<p>1)</p>  <p>HAND CONTROL VALVE IN PROCESS LINE</p>	<p>2)</p>  <p>HAND-ACTUATED ON-OFF SWITCHING VALVE IN PNEUMATIC SIGNAL LINE</p>	<p>3)</p>  <p>MANUALLY ADJUSTABLE RESTRICTION ORIFICE IN SIGNAL LINE</p>
LEVEL	<p>1)</p>  <p>LEVEL REGULATOR WITH MECHANICAL LINKAGE</p>		
PRESSURE	<p>1)</p>  <p>PRESSURE-REDUCING REGULATOR, SELF-CONTAINED</p>	<p>2)</p>  <p>PRESSURE-REDUCING REGULATOR WITH EXTERNAL PRESSURE TAP</p>	<p>3)</p>  <p>DIFFERENTIAL PRESSURE-REDUCING REGULATOR WITH INTERNAL AND EXTERNAL PRESSURE TAPS</p>



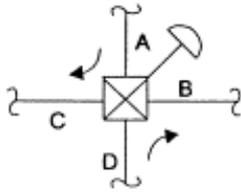
Abre en fallo



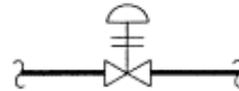
Cierra en fallo



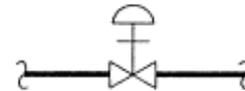
Abre en fallo a vía A-C



Abre en fallo a vías A-C y D-B

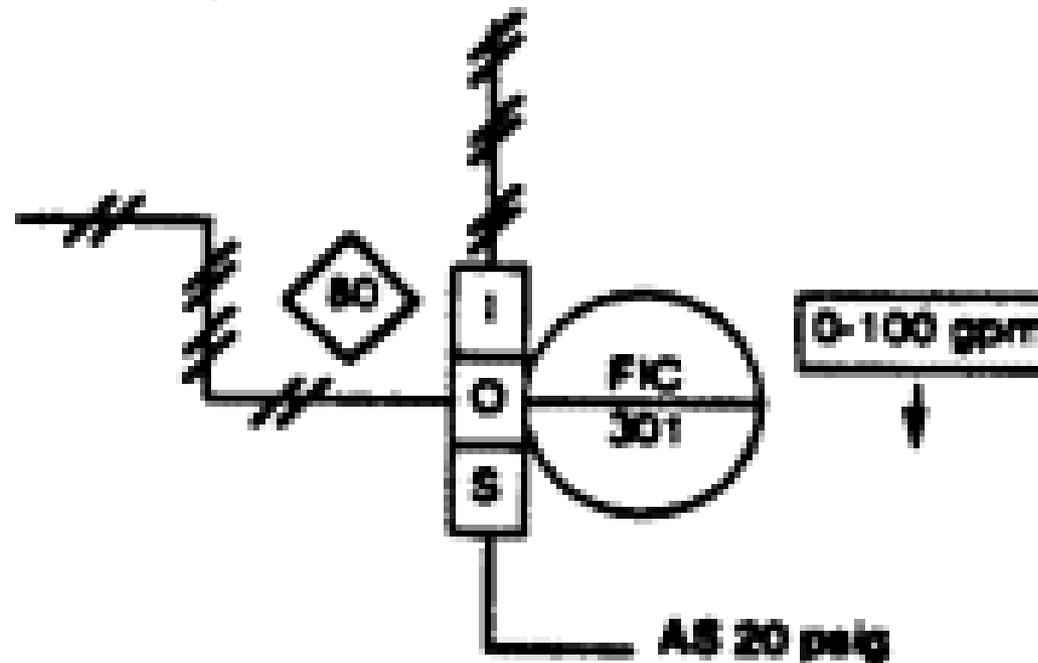


Se bloquea en fallo



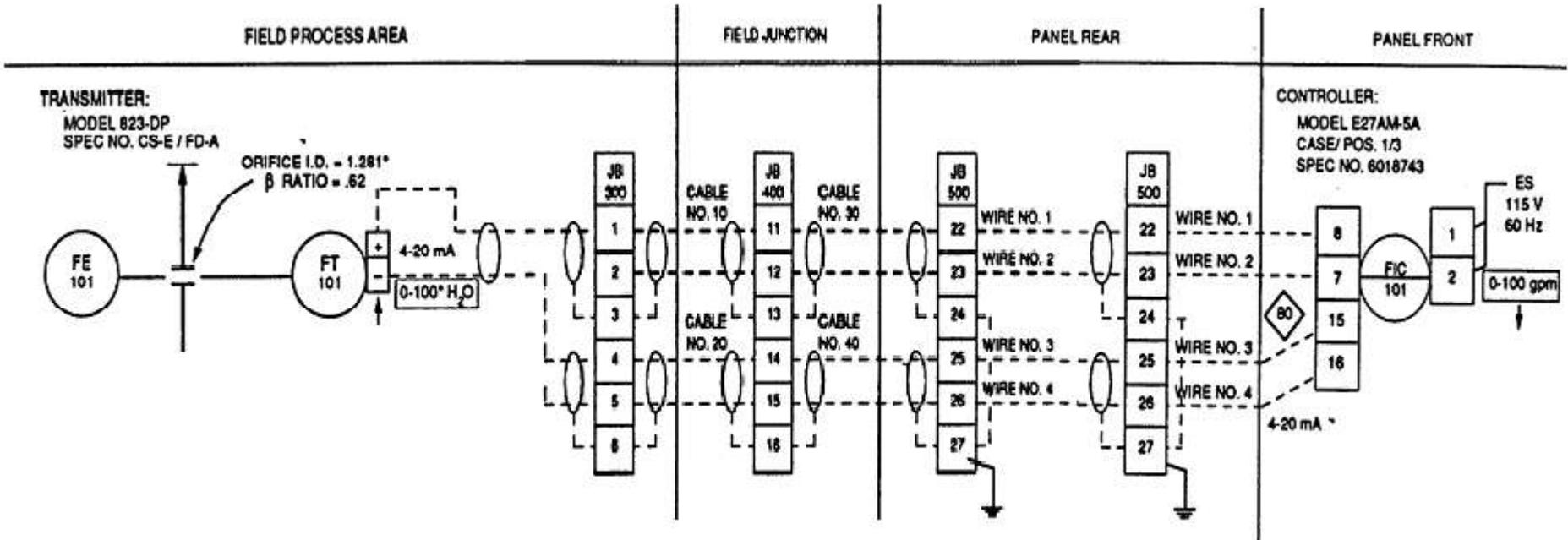
Posición indeterminada en fallo

Identificación del punto de ajuste (set-point) y del rango de operación del instrumento.



Lazos Electrónicos

Interpretación de los lazos electrónicos por medio de los símbolos de instrumentación



El transmisor etiquetado como FT-101 sensa y mide la diferencia de presión causada por la restricción de la placa de orificio. El transmisor también produce una señal que representa esta caída, la cual es proporcional al flujo promedio. Los puntos de conexión del transmisor son terminales eléctricas. Los signos positivo y negativo indican la polaridad de las terminales. Este transmisor transmite una señal de 4 a 20 mA. La flecha apuntando hacia arriba nos indica que es un instrumento que actúa directamente. El ovalo alrededor de las líneas de señal indica que esta blindada la señal para evitar interferencia eléctrica que pueda ocasionar una lectura errónea en los indicadores.

