

Sistemas de medida

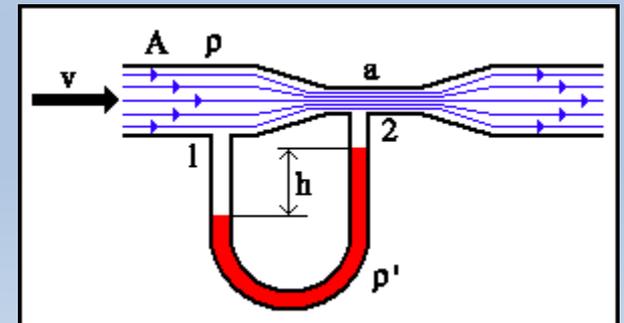
Control de procesos industriales

Sea cual sea la estrategia de control seleccionada, para implementar físicamente el sistema de control habrá que:

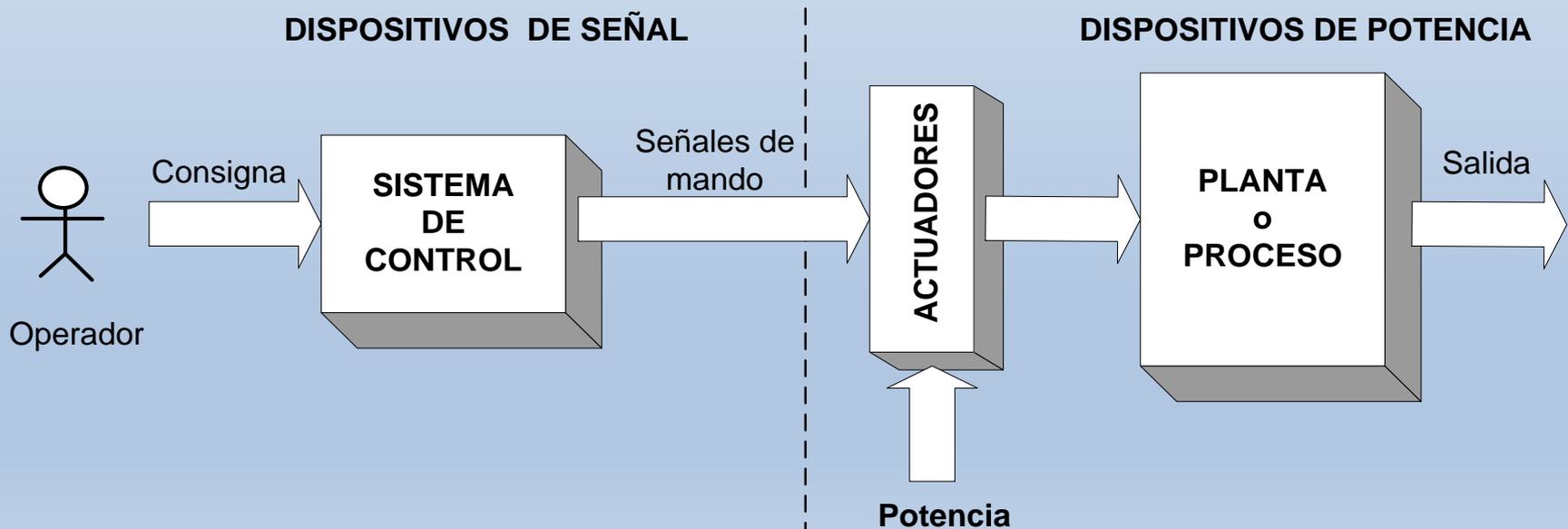
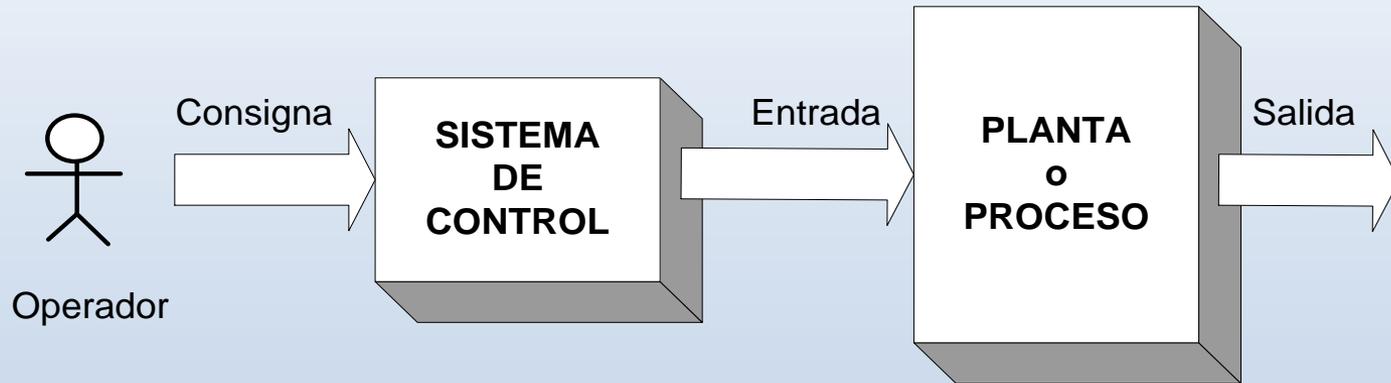
Medir variables del proceso (niveles, caudales, temperaturas, etc.)

Calcular las acciones de control y

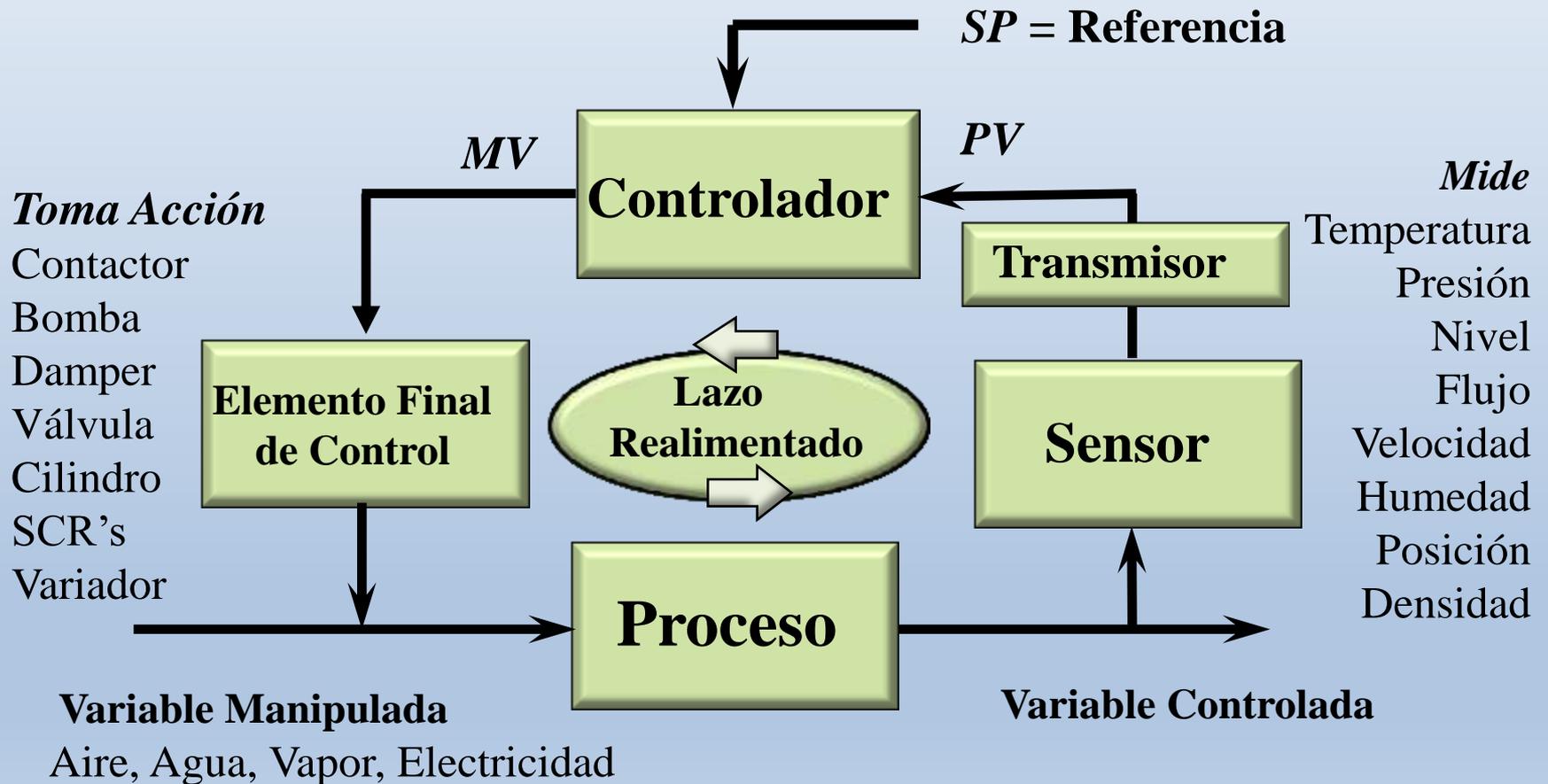
Manipular determinadas variables de entrada.



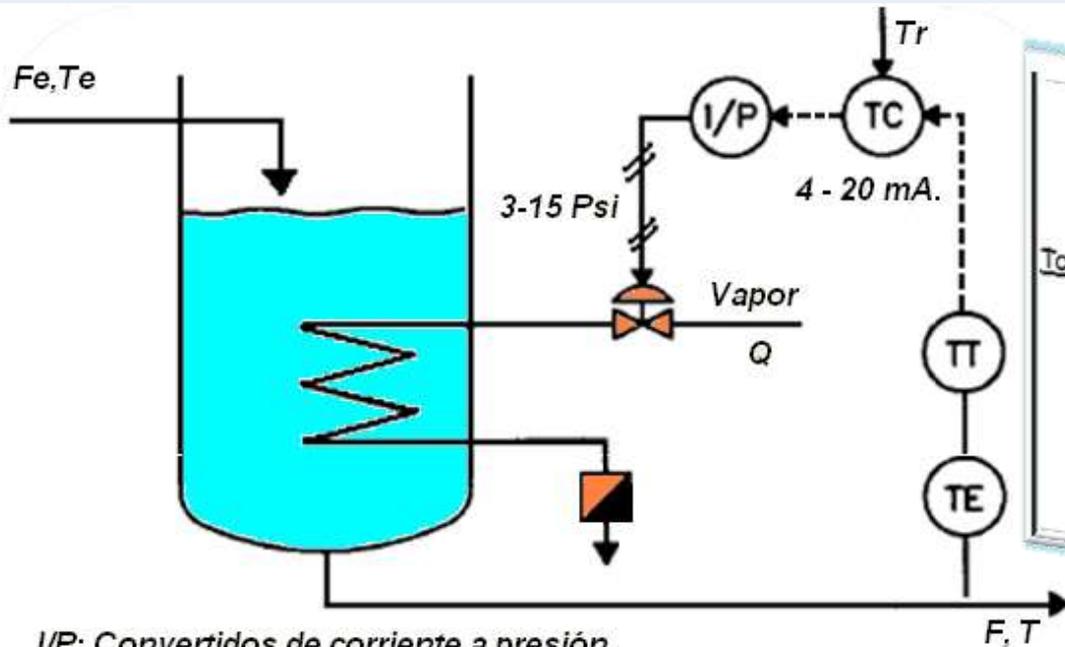
Control de procesos industriales



Control de procesos industriales



Control de procesos industriales

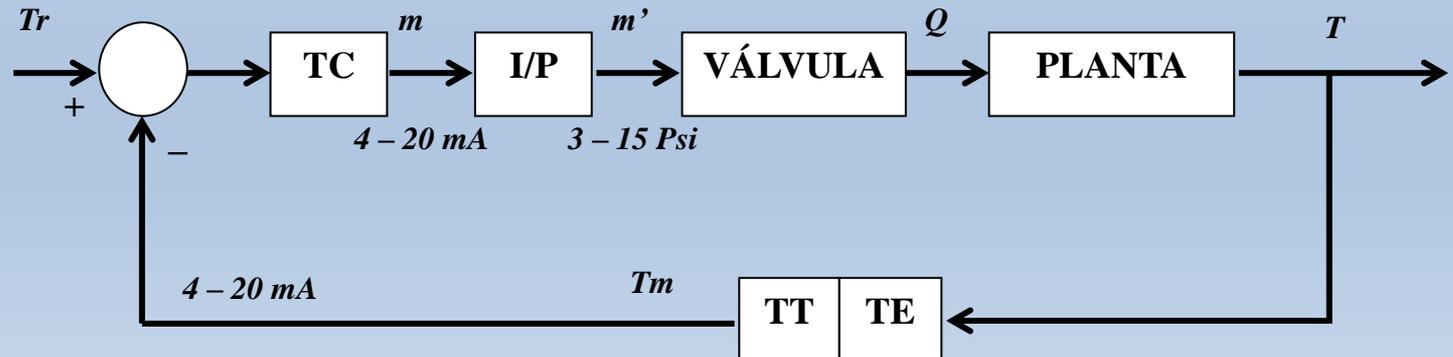
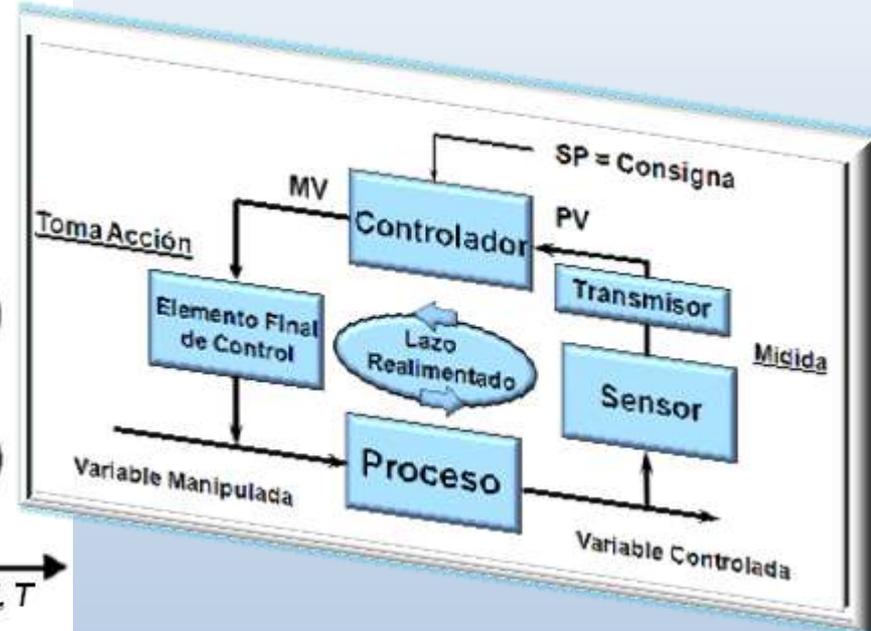


I/P: Convertidos de corriente a presión

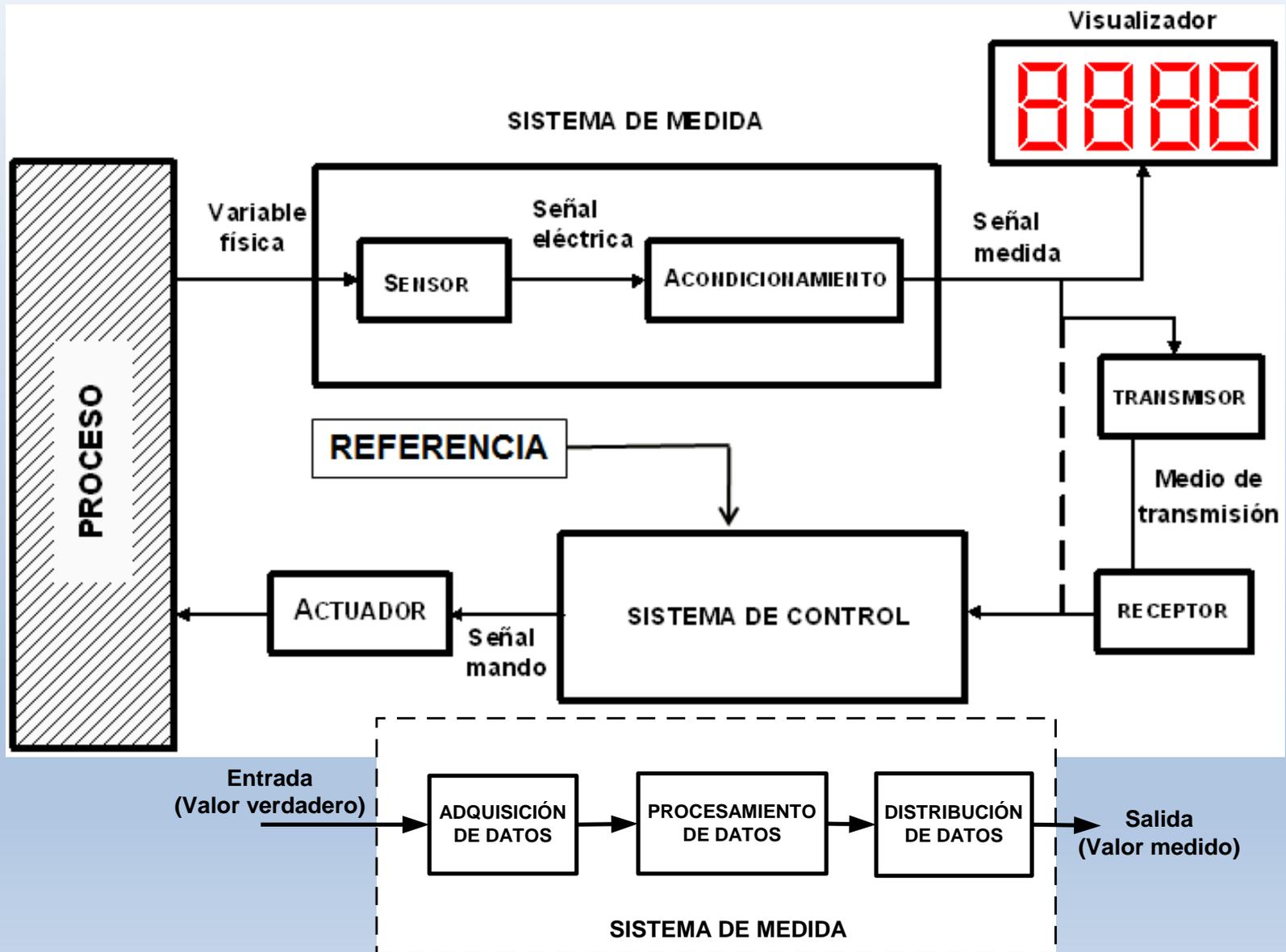
TT: Trnasmisor de temperatura

TC: Controlador electrónico de temperatura

TE: Elemento primario (sensor) de temperatura

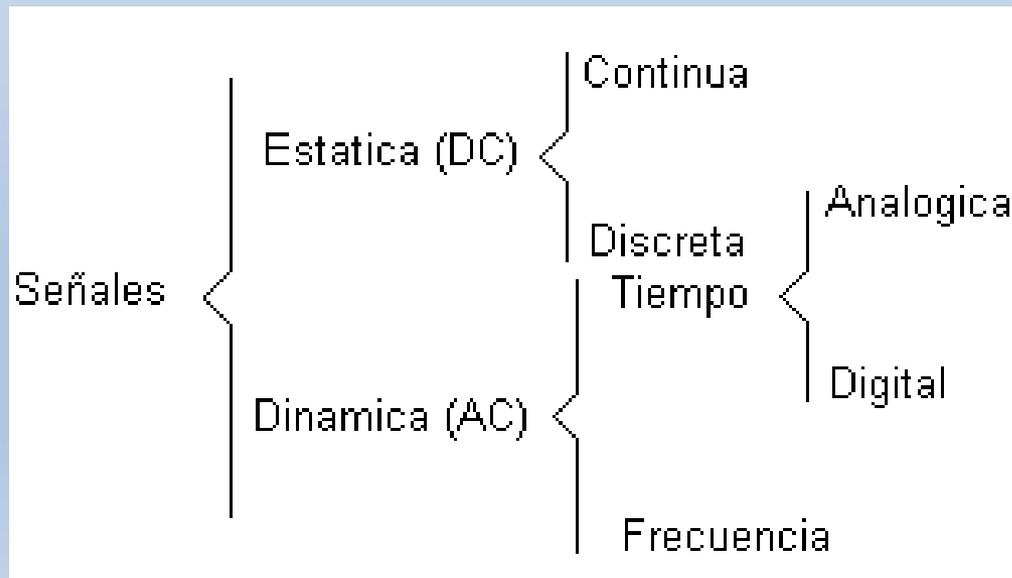


Sistema de medida



Tipos de señales

Se denomina **señal** a toda aquella **magnitud física que puede ser medida**, ya sea variable o constante en el tiempo. La principal distinción eléctrica se hace entre **dinámica** (corriente alterna ó AC) ó **estática** (corriente continua ó DC). A la vez las señales alternas, pueden estudiarse tanto en el **tiempo** como en la **frecuencia**. Por otra parte para el estudio de las señales continuas en el tiempo se clasifican en continuas y discretas, como se muestra en la figura.

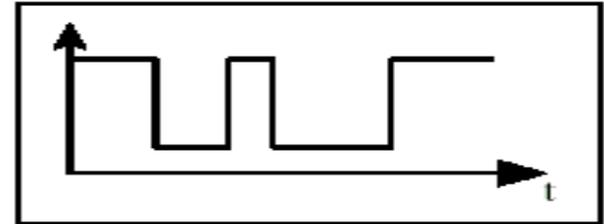


Tipos de señales

Señales

Digitales

DC
(Control por
Modulación de Pulsos)

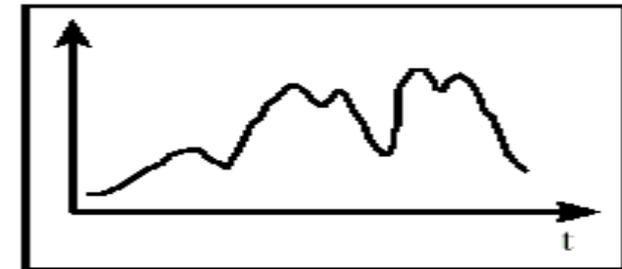


DC
(Nivel de un Estado Logico)

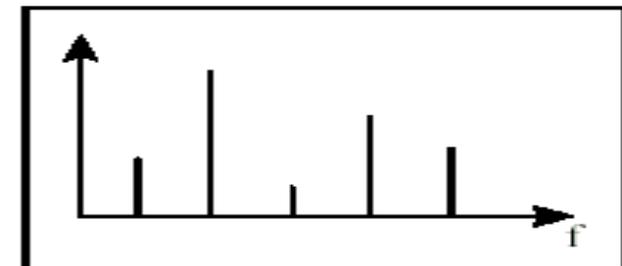


Analógicas

AC
Dominio del Tiempo
(Forma de la señal)



AC
Dominio de la Frecuencia
(Armonicos)



Naturaleza de las señales

✓ ***Analógica:*** la variable física se traduce en variaciones continuas de la señal de salida. La señal se transmite con tensiones de *1 a 5 VDC*, de *2 a 10 VDC* y con el lazo de corriente de *4-20 mA*.

✓ ***Digital:*** las variables físicas son discretas y representan estados: *ON/OFF*, abierto/cerrado, etc. La señal se transmite con dos tensiones de línea, por ejemplo, *0 ó 24 VDC*.

✓ ***Secuencias de Impulsos:*** las variables físicas representan estados cíclicos, por ejemplo, la velocidad de una turbina. La señal de salida es una serie de impulsos cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de la turbina.

Clasificación de los instrumentos

Atendiendo a su objetivo fundamental:

Instrumentos de monitorización: indican al operador el estado de la variable. Proporcionan una indicación visual de la magnitud física que se está midiendo.

Instrumentos de control: Envían a un controlador la señal correspondiente a la medida. Proporcionan una señal eléctrica o neumática que pueda ser utilizada directamente por el equipo de control.

Clasificación de los instrumentos

Atendiendo a su función:

- Instrumentos ciegos
- Instrumentos indicadores
- Instrumentos registradores

Clasificación de los instrumentos

Atendiendo al origen de la energía requerida para realizar la medición:

Instrumentos activos: la energía necesaria para realizar la medida es aportada por el proceso físico que se desea medir no siendo necesaria una fuente de energía externa. Ellos mismos generan una tensión o corriente, se basan en diferentes efectos: termoeléctrico, piezoeléctrico...

Instrumentos pasivos utilizan una fuente de energía externa para realizar la medida y proporcionar la energía propia de la señal. En esta clase de instrumentos, la magnitud medida modula la fuente de energía externa.

Clasificación de los instrumentos

Atendiendo a la referencia utilizada para la medida:

Instrumentos de desplazamiento: se basan en la variación experimentada por una variable que es función de la magnitud medida.

Instrumentos de comparación: efectúan la medida comparando la magnitud con patrones conocidos.

Clasificación de los instrumentos

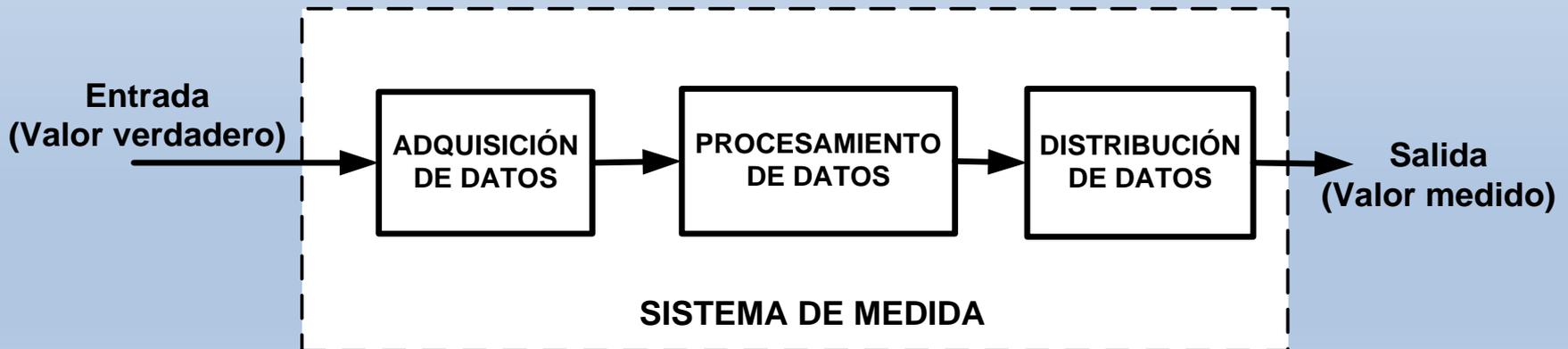
Atendiendo a la continuidad de la medida:

Instrumentos analógicos: proporcionan una medida que varía de forma continua

Instrumentos digitales: proporcionan una medida que solo puede tomar un número finito de valores. Las medidas digitales son más fáciles de integrar en un sistema de control por ordenador.

Sensor: elemento primario

Los procesos de medición, necesitan de un elemento sensor, para poder medir el cambio de la variable física deseada. **El elemento sensor actúa como los sentidos del ser humano**, es capaz de detectar cambios de una variable determinada, en muchos de los caso con una precisión mucho mayor.



Elección del elemento primario

Características de alimentación Características ambientales

- Tensión
- Corriente
- Potencia disponible
- Frecuencia (si alterna)
- Estabilidad
- Margen de temperatura
- Humedad
- Vibraciones
- Agentes químicos
- Entorno electromagnético

Otros factores

- Peso
- Dimensiones
- Vida media
- Costo de adquisición
- Disponibilidad
- Tiempo de instalación
- Tipo de conector
- Situación en caso de fallo
- Longitud de cable necesaria
- Coste de verificación
- Coste de mantenimiento
- Coste de sustitución

Elección del elemento primario

Otros factores

Magnitud a medir

- Margen de medida
- Resolución
- Exactitud deseada
- Estabilidad
- Ancho de banda
- Interferencias
- Impedancia

Características de salidas

- Sensibilidad
- Tipo: tensión, corriente, frecuencia
- Forma de señal: unipolar, diferencial
- Tiempo de respuesta
- Destino: presentación, conversión digital, telemedida

Transductor

Un **transductor** es un elemento encargado de **convertir una variable física en otra**, la forma mas común es convertir una variable mecánica (presión, velocidad, posición) en una variable eléctrica (voltaje, corriente o impedancia). Por lo que puede entenderse como un convertidor

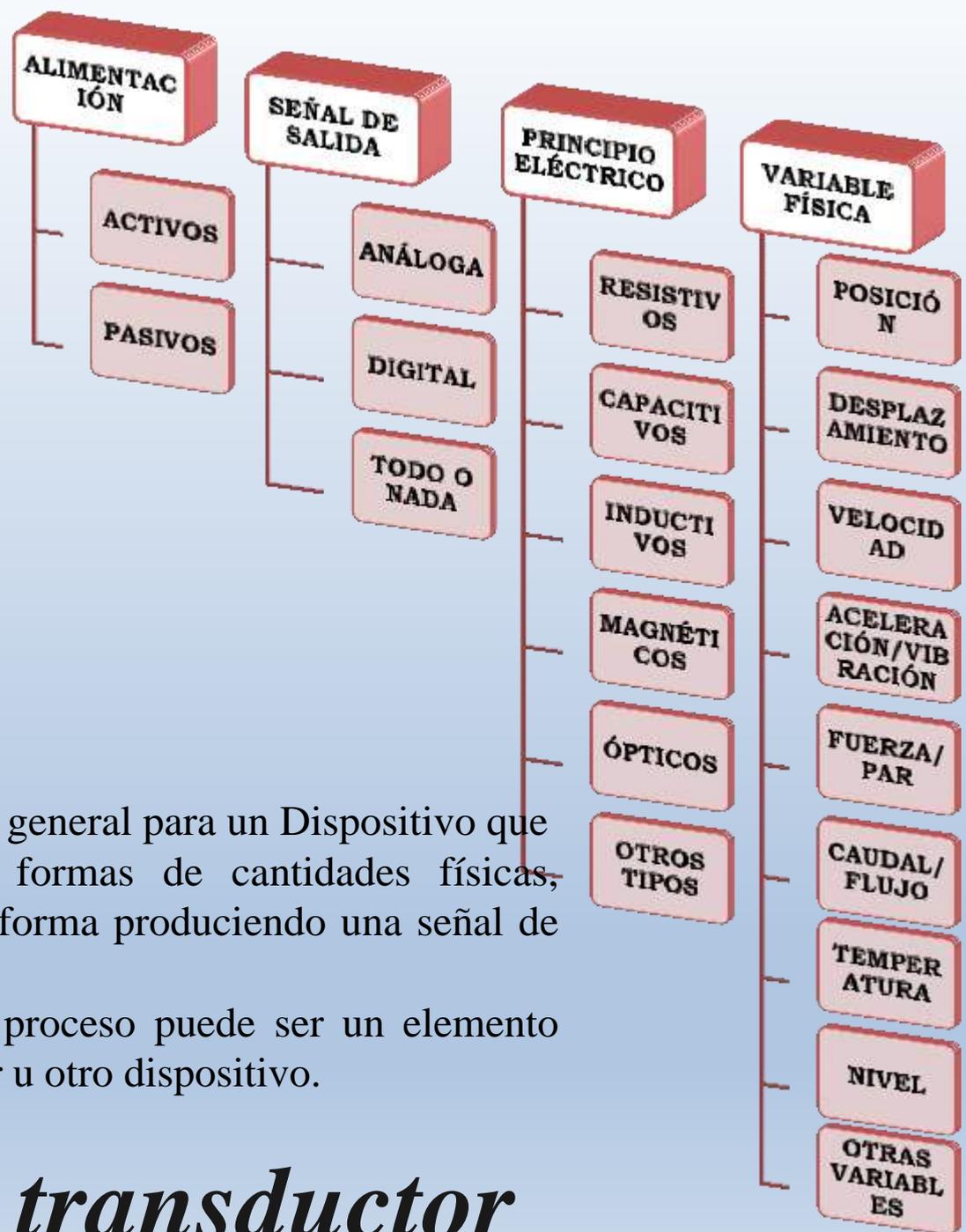


La norma **ISA S51-1984 (1992)** define así los términos sensor y transductor

Sensor: Parte de un lazo o un instrumento que primero sensa el valor de la variable de un proceso y que asume el valor correspondiente predeterminado para el estado de la salida. El sensor puede estar separado o integrado a cualquier elemento funcional del lazo. Se le conoce también como detector o *elemento primario*.

Transductor (Transducer) : Termino general para un Dispositivo que recibe información de una o más formas de cantidades físicas, modificando esta información y/o su forma produciendo una señal de salida.

Dependiendo de su aplicación en el proceso puede ser un elemento primario, transmisor, relé , convertidor u otro dispositivo.



Elección del transductor

Clasificación de los transductores

**T
R
A
N
S
D
U
C
T
O
R
E
S**

**P
A
S
I
V
O
S**

POR VARIACIÓN DE RESISTENCIA

POTENCIÓMETRO

GALGA EXTENSIÓMÉTRICA

TERMISTOR

TERMORESISTENCIA

FOTORESISTENCIA

POR VARIACIÓN DE IMPEDANCIA

VARIACIÓN DE CAPACITANCIA

VARIACIÓN DE INDUCTANCIA

TRANSFORMADOR DIFERENCIAL

VARIACIÓN DE PERMEABILIDAD

ESPECIALES

EFECTO HALL

CÉLULA FOTOEMISIVA (EFECTO FOTOELÉCTRICO)

CÁMARA DE IONIZACIÓN (RADIACIÓN)

**A
C
T
I
V
O
S**

TERMOPAR

SENSOR PIEZOELÉCTRICO

TACOGENERADOR

CÉLULA FOTOEMISIVA

Clasificación de los transductores

Parámetro eléctrico y clase de transductor	Principio de operación y naturaleza del dispositivo	Aplicación Típica
<i>Transductores Pasivos (con potencia externa)</i>		
Resistencia		
Dispositivo potenciométrico	El posicionamiento de un cursor por medio de una fuerza externa varía la resistencia en un potenciómetro o un circuito puente	Presión, desplazamiento
Galga extensiométrica resistiva	La resistencia de un alambre semiconductor cambia según la elongación o compresión debida a esfuerzos aplicados externamente	Fuerza, par, desplazamiento
Medidor de alambre caliente o medidor Pirani	La resistencia de un elemento caliente varía enfriándolo con flujo de gas	Flujo de gas, presión de gas
Termómetro de resistencia	La resistencia de un alambre de metal puro con un coeficiente de temperatura de resistencia positivo grande varía con la temperatura	Temperatura, calor radiante
Termistor	La resistencia de ciertos óxidos de metal con coeficiente de temperatura de resistencia negativo cambia con la temperatura	Temperatura
Higrómetro de resistencia	La resistencia de una cinta conductiva se altera con el contenido de humedad	Humedad relativa
Celda fotoconductiva	La resistencia de una celda como un elemento del circuito se modifica con la luz incidente	Relevador fotosensible

Clasificación de los transductores

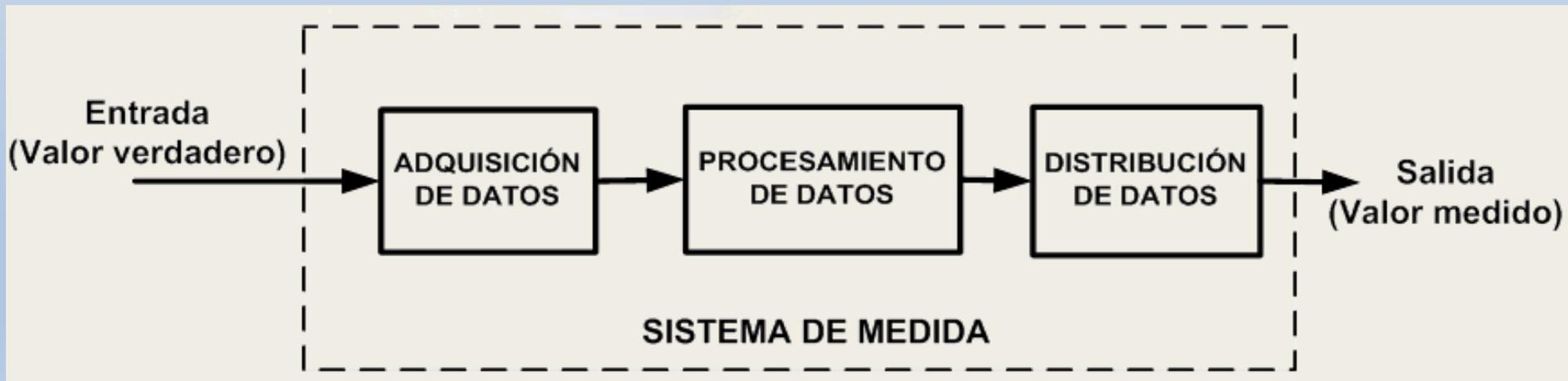
Parámetro eléctrico y clase de transductor	Principio de operación y naturaleza del dispositivo	Aplicación Típica
Transductores Pasivos (con potencia externa)		
Capacitancia		
Medidor de presión de capacitancia variable	Una fuerza aplicada externamente varía la distancia entre dos placas paralelas	Desplazamiento, presión
Micrófono de capacitor	La presión del sonido altera la capacitancia entre una placa fija y un diafragma móvil	Voz, música y ruido
Medidor dieléctrico	La capacitancia varía por cambios en el dieléctrico	Nivel de líquidos, espesor
Inductancia		
Transductor de circuito magnético	Los cambios del circuito magnético modifican la autoinductancia o inductancia mutua de una bobina excitada por ca	Presión, desplazamiento
Detector de reluctancia	La reluctancia de un circuito magnético varía al cambiar la posición del núcleo de hierro de una bobina	Presión, desplazamiento, vibración, posición
Transformador diferencial	La tensión diferencial de dos devanados secundarios de un transformador varía al mover el núcleo magnético por medio de una fuerza aplicada desde el exterior	Presión, fuerza, desplazamiento, posición
Medidor de corriente parásita	La inductancia de una bobina se altera por la proximidad de una placa con corrientes parásitas inducidas	Desplazamiento, espesor
Medidor de rnagnetostricción	Las propiedades magnéticas cambian por presión y esfuerzos	Fuerza, presión, sonido

Clasificación de los transductores

Parámetro eléctrico y clase de transductor	Principio de operación y naturaleza del dispositivo	Aplicación Típica
<i>Transductores de autogeneración (sin potencia externa)</i>		
Termopar y termopila	Se genera una fem por la unión de dos metales disímiles o semiconductores cuando la unión se calienta	Temperatura, flujo de calor, radiación
Generador de bobina móvil	El movimiento de una bobina en un campo magnético genera una tensión	Velocidad, vibración
Detector piezoeléctrico	Se genera una fem cuando una fuerza externa se aplica a ciertos materiales cristalinos, como el cuarzo	Sonido, vibración, aceleración, cambios de presión
Celda fotovoltaica	Se genera tensión en un dispositivo de unión semiconductor cuando la energía radiante estimula la celda	Medidor de luz, celda solar

Acondicionamiento de señales

El elemento **acondicionador** toma la señal medida por el sensor y la **convierte en una señal más adecuada** para ser procesada. Los acondicionadores, son subsistemas activos, es decir, toman energía de una fuente externa para amplificar y manipular la variable o señales que entran a ellos.



Acondicionamiento de señales

Normalmente la señal de salida de los sensores no es apropiada para ser procesada debido a los siguientes factores:

- Alto contenido de ruido
- El sistema no es lineal
- Las impedancias no están adaptadas
- Los niveles de amplitud son demasiado altos o demasiado bajos
- No es compatible con el resto del sistema

Acondicionamiento de señales

El proceso de acondicionamiento incluye todas o algunas de las siguientes operaciones:

- *Filtrado*: disminución del ruido, adaptación de impedancias y amplificación (o atenuación)
- *Digitalización*: Muestreo y Cuantificación
- *Codificación*: Binario Natural, ASCII, otros
- *Linealización*

Características estáticas

En la mayor parte de los sistemas de medida, la variable de interés varía tan lentamente que basta conocer las características estáticas de los sensores. También se aplican a todo instrumento de medida.

Rango (campo de medida)

El rango de entrada de un elemento se **especifica con los valores mínimo y máximo** de la entrada ($I(t)$) es decir, el valor de I_{MIN} a I_{MAX} . El rango de salida se especifica con los valores mínimo y máximo de la salida ($O(t)$) es decir los valores O_{MIN} a O_{MAX} . Por ejemplo, un transmisor de presión puede tener un rango de entrada de 0 psi a 25 psi y un rango de salida de 4 mA a 20 mA.



Variación del rango

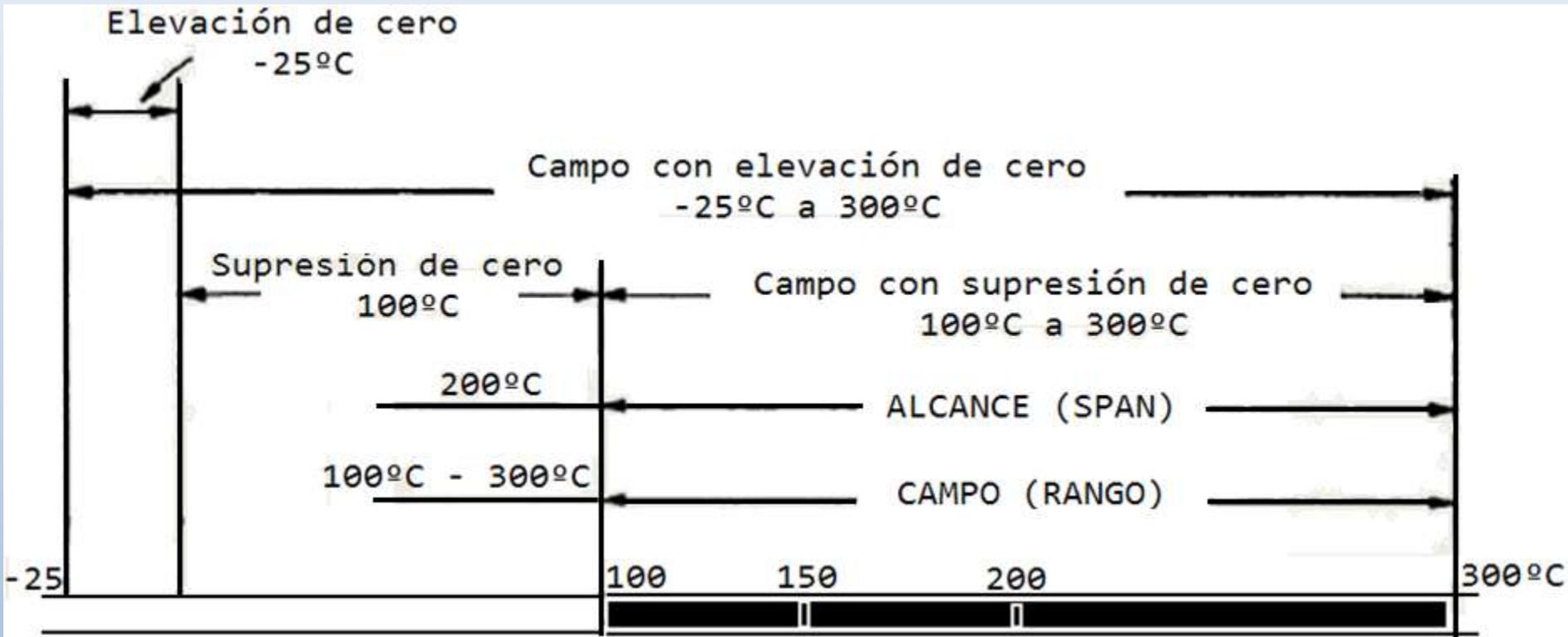
Elevación de cero: Es la cantidad con la cual el valor cero de la variable medida supera al valor inferior del rango. Puede expresarse en unidades de la variable medida o como porcentaje del span o del rango.

Supresión a cero: Es la cantidad con la cual el valor inferior del rango supera al valor cero de la variable medida. Puede expresarse en unidades de la variable medida o como porcentaje del span o rango.

Rango con elevación de cero: Es el rango de medida en el cual valor cero de la variable o señal medida es mayor que el valor inferior del rango.

Rango supresión de cero: Es el rango en el cual el valor cero de la variable o señal medida es menor que el valor inferior del rango.

Variación del rango



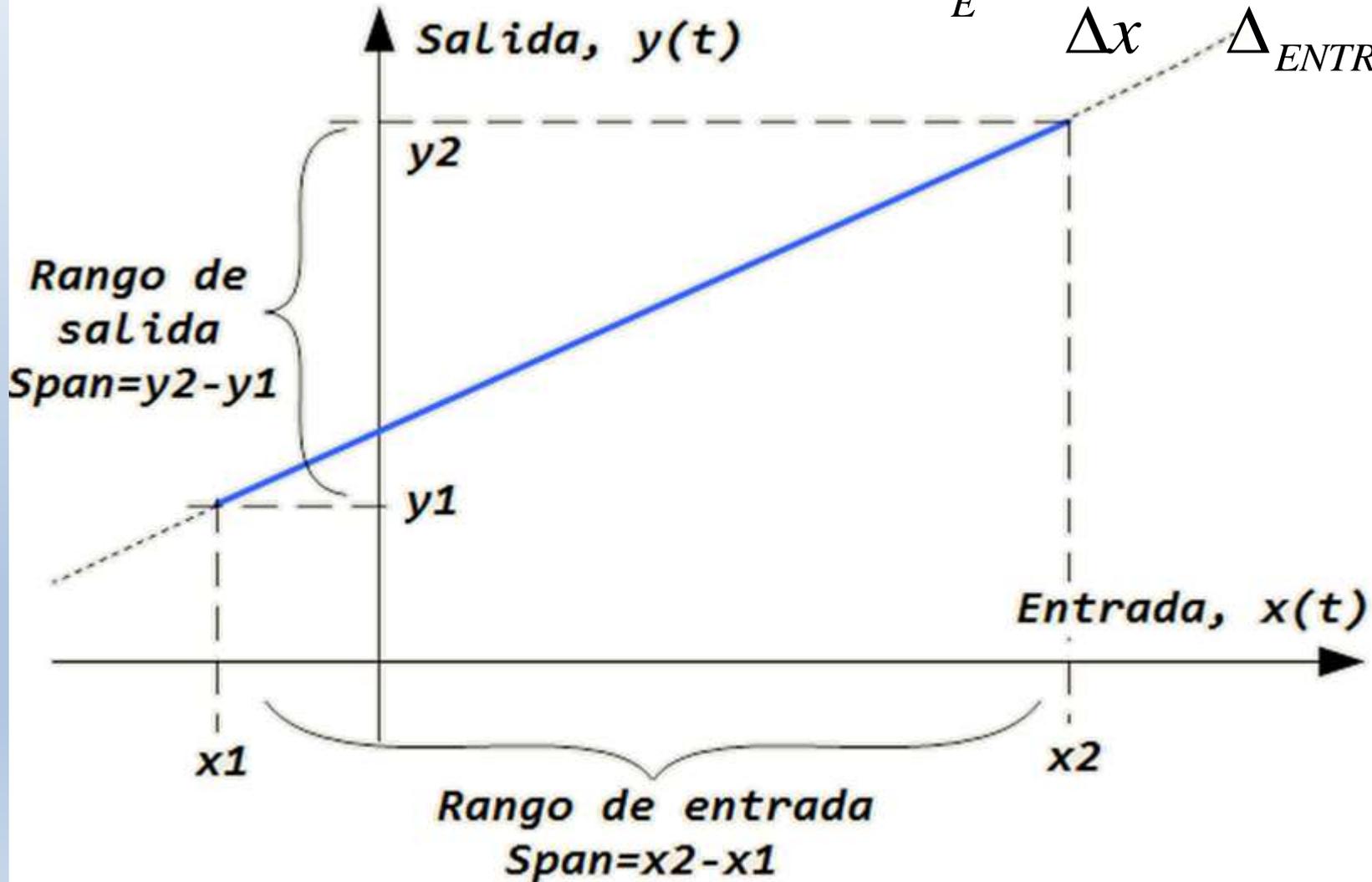
Span (alcance)

El **span** es la variación máxima en la entrada o en la salida, es decir, el intervalo de entrada es $IMAX - IMIN$ y el **span** de salida $OMAX - OMIN$. Así, por ejemplo, un transmisor de presión tiene un span de entrada de 230 psi y un intervalo de salida de 16 mA.



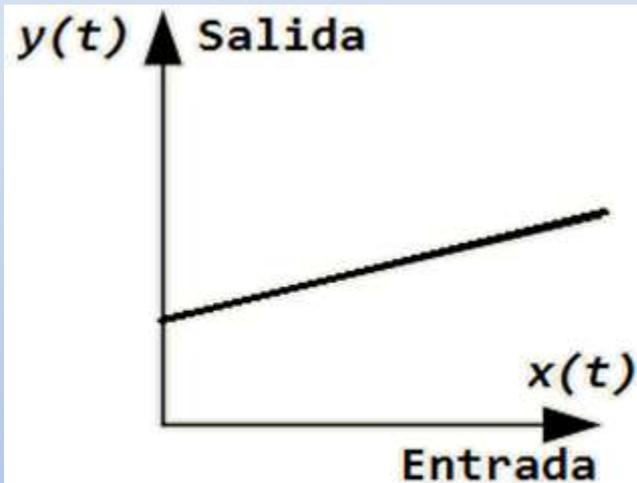
Sensibilidad

$$S_E = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta_{SALIDA}}{\Delta_{ENTRADA}}$$

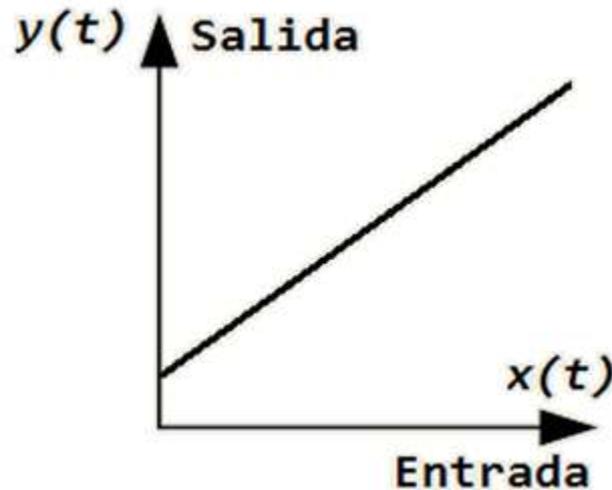


Sensibilidad

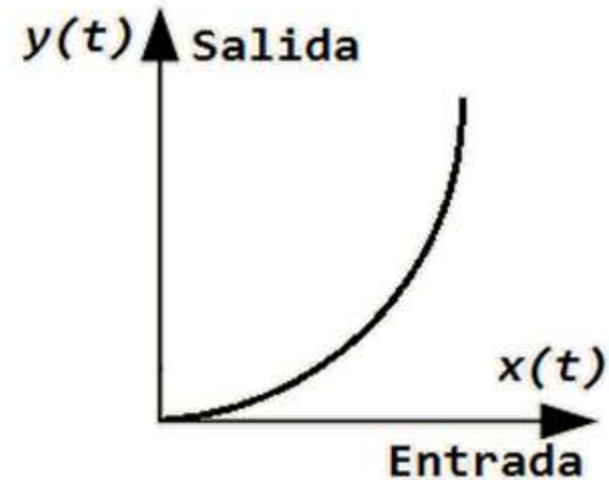
$$S_E = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{\Delta_{SALIDA}}{\Delta_{ENTRADA}}$$



**Baja
Sensibilidad**

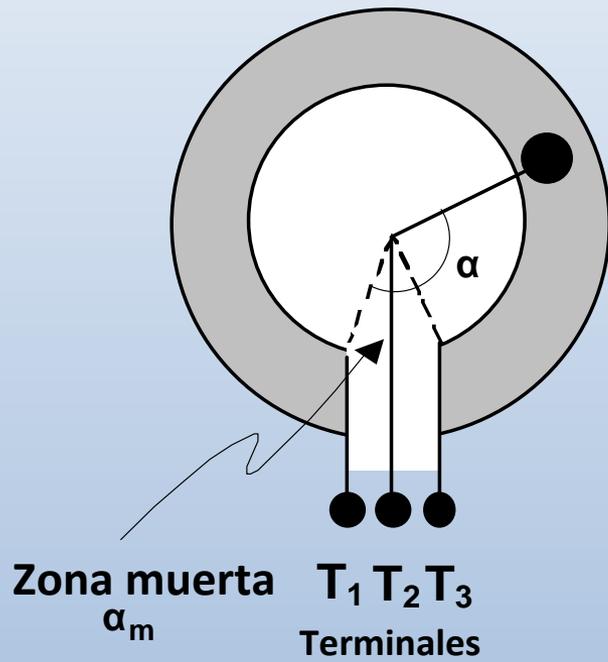


**Alta
sensibilidad**

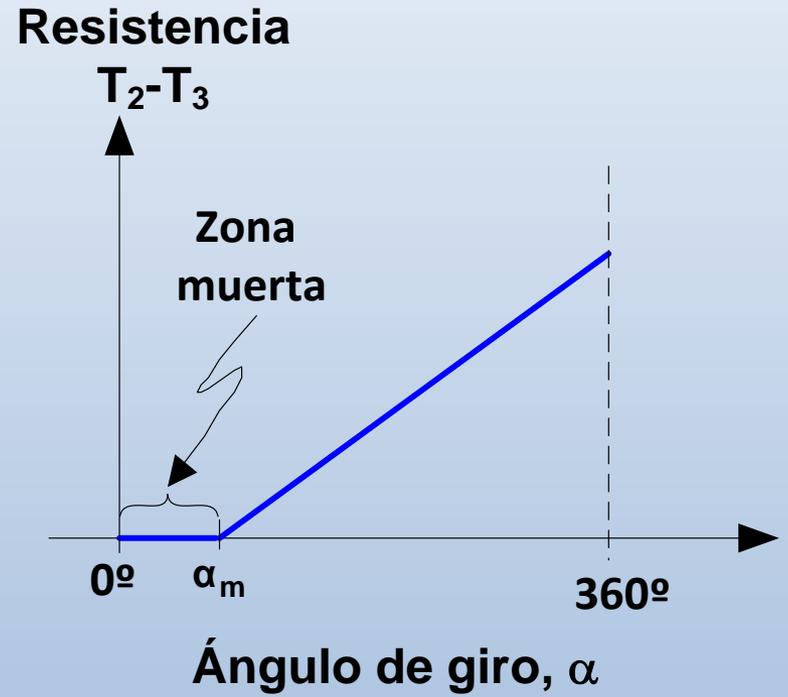


**Sensibilidad
variable**

Zona muerta



(a)

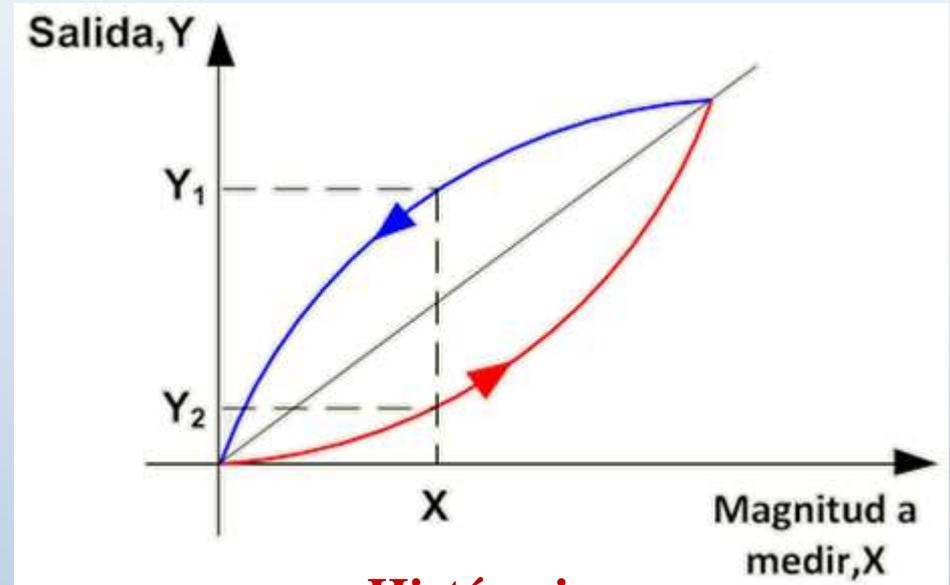


(b)

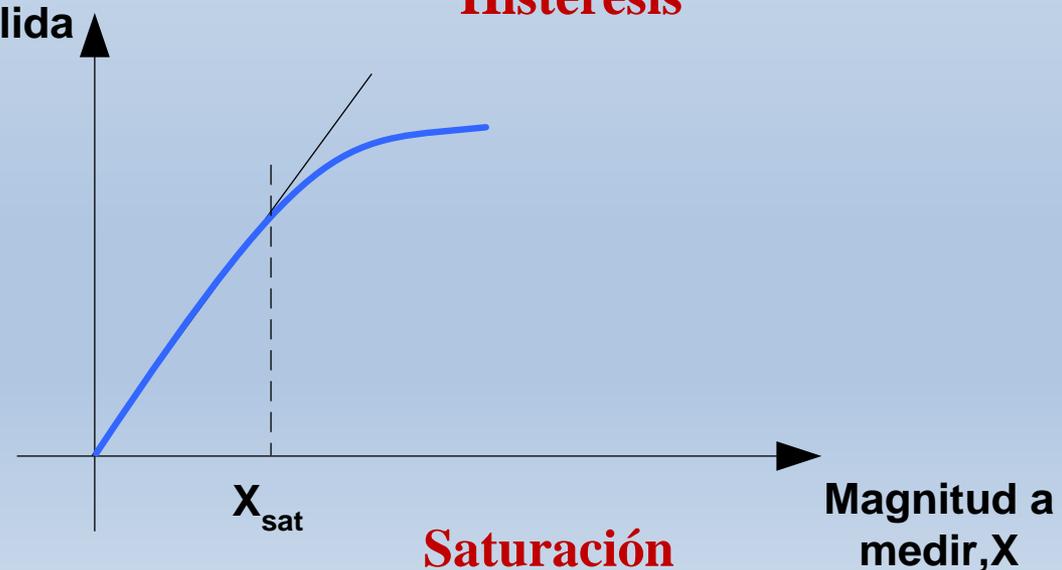
Resolución, histéresis, saturación



Resolución



Histéresis

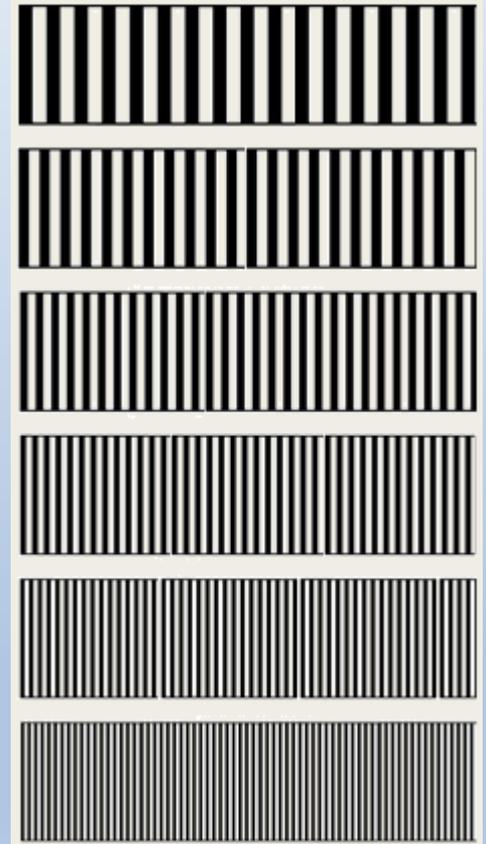


Saturación

Resolución

Resolución: Es la más pequeña cantidad que puede ser medida con certeza, por ejemplo, un multímetro de 5 1/2 dígitos puede mostrar 200000 cuentas, y en consecuencia la resolución será igual a 1 dígito. Por ejemplo, 1 microvoltios en la escala de 200 V

Baja resolución



Alta resolución

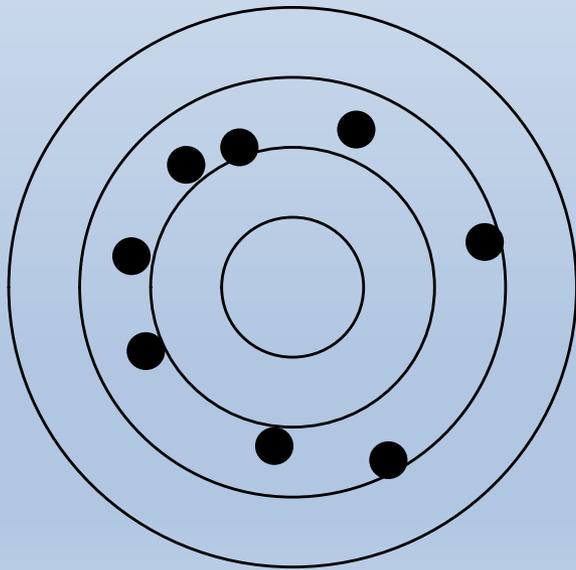
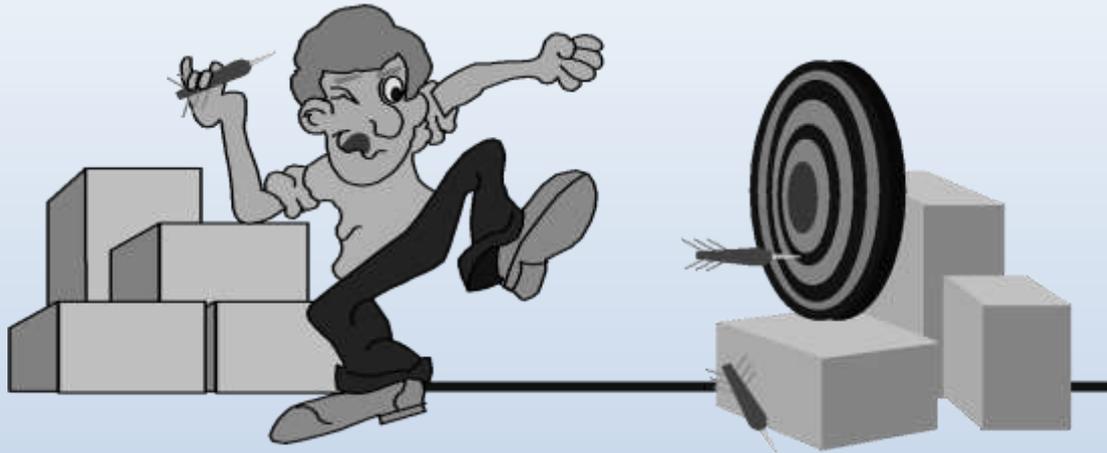
Exactitud (accuracy)

Exactitud: (Accuracy): Grado en que la indicación de un instrumento se aproxima al valor verdadero de la magnitud medida.

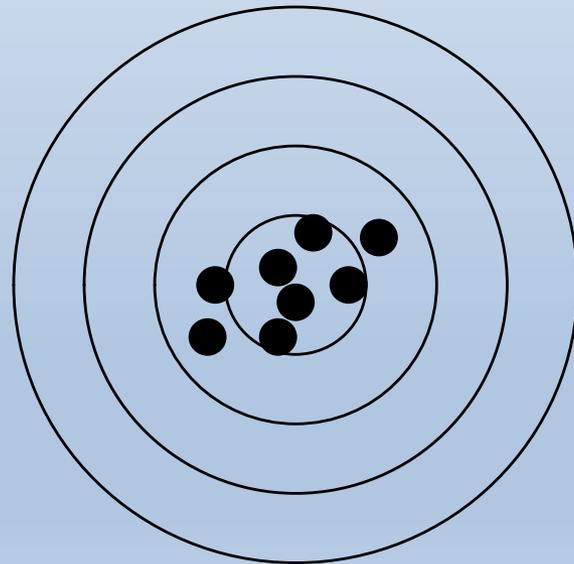
Valor exacto o verdadero: El que se obtiene por un método en el que los expertos coinciden como que es suficientemente exacto para servir de referencia. (Patrón)

La exactitud de un sensor se determina mediante *calibración estática*, esto es, variando lentamente la entrada y tomando valores: *curva de calibración*. Para conocer la magnitud de entrada hace falta un *patrón de referencia*. Su valor debe conocerse con una exactitud al menos diez veces mayor que la del sensor que se calibra.

Exactitud (accuracy)

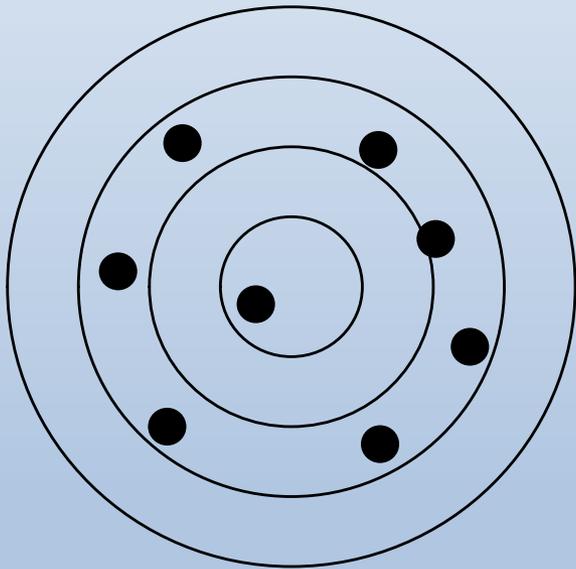


Baja exactitud

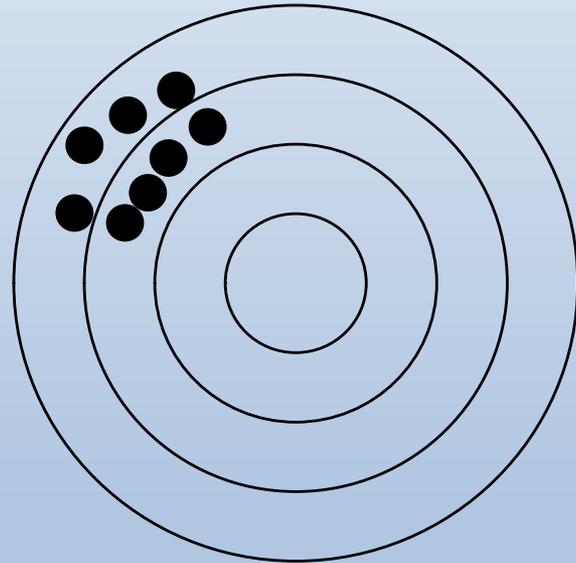


Alta exactitud

Precisión (fidelidad)

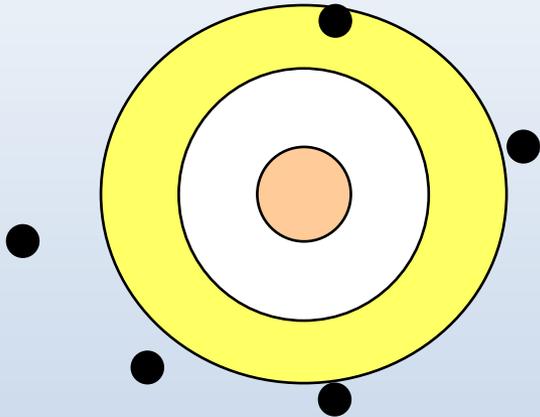


Alta precisión

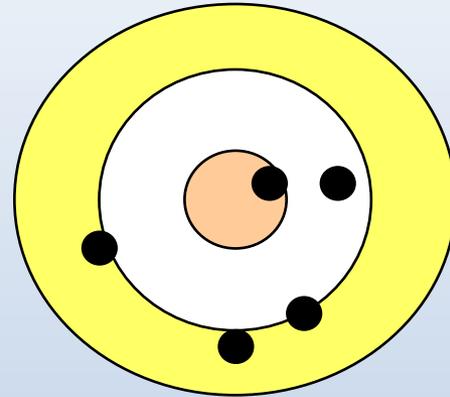


Baja precisión

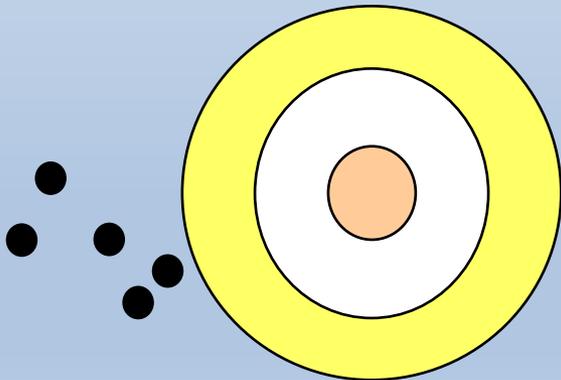
Exactitud, precisión, repetibilidad



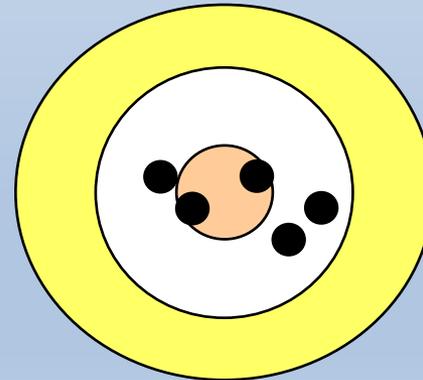
No repetible, no exacto



No repetible, exacto



Repetible, no exacto



Repetible, exacto

Error en la medida



Error en la medida

Error: divergencia entre la indicación del instrumento y el verdadero valor de la magnitud medida.

Error absoluto: resultado de la medida – valor real

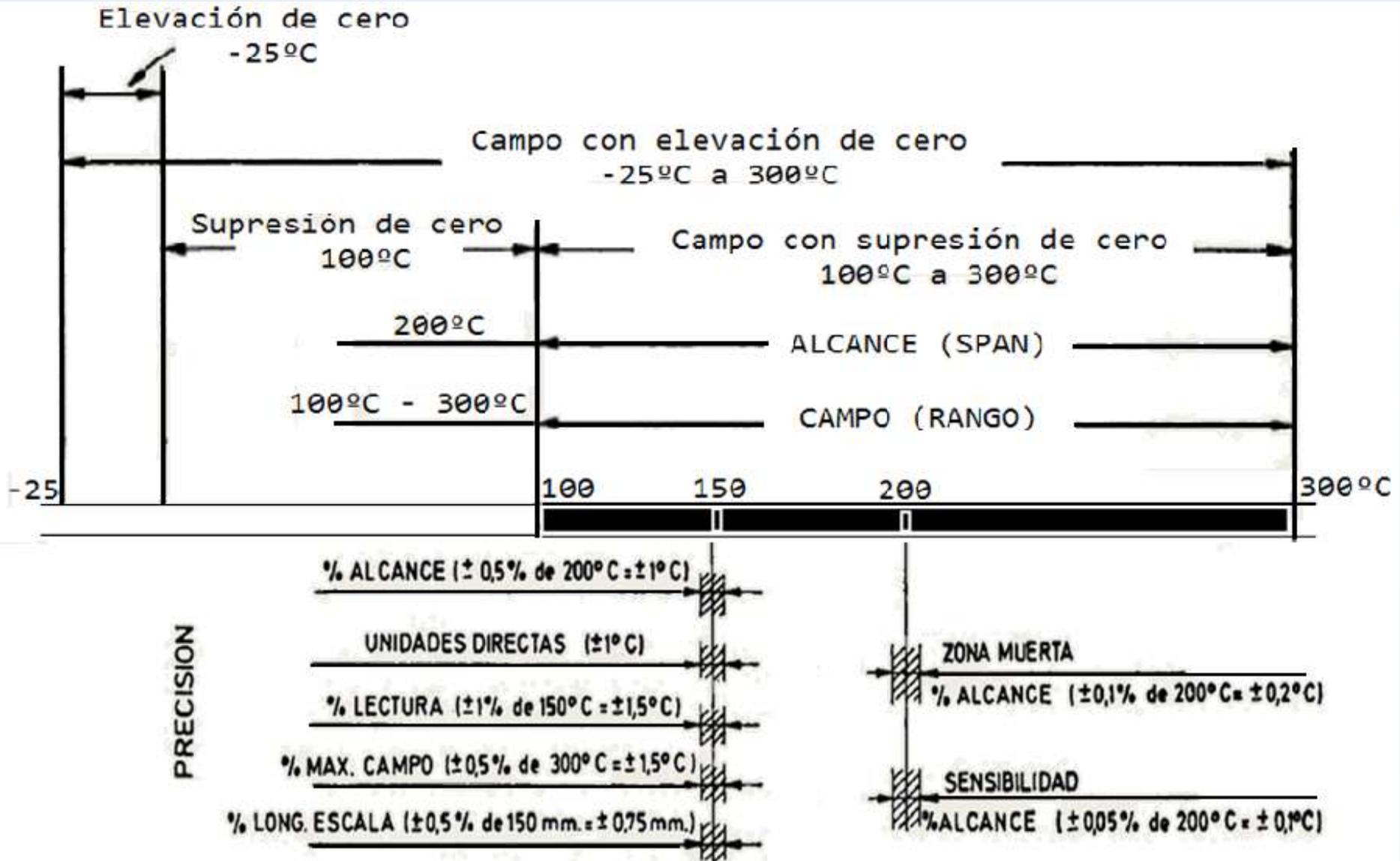
$$E_{ABSOLUTO} = |V_{MEDIDO} - V_{REAL}|$$

Error relativo: cociente entre el error absoluto y el valor verdadero. Puede expresarse de varias maneras:

- % de la lectura,
- % del span,
- % del fondo de escala,
- en «unidades de ingeniería», en el caso de instrumentos digitales

$$E_{RELATIVO} = \frac{E_{ABSOLUTO}}{V_{REAL}} 100\% = \frac{|V_M - V_R|}{V_R} 100\%$$

Error en la medida



Tipos de errores

- Errores grandes
- Errores sistemáticos
- Errores aleatorios

Además,

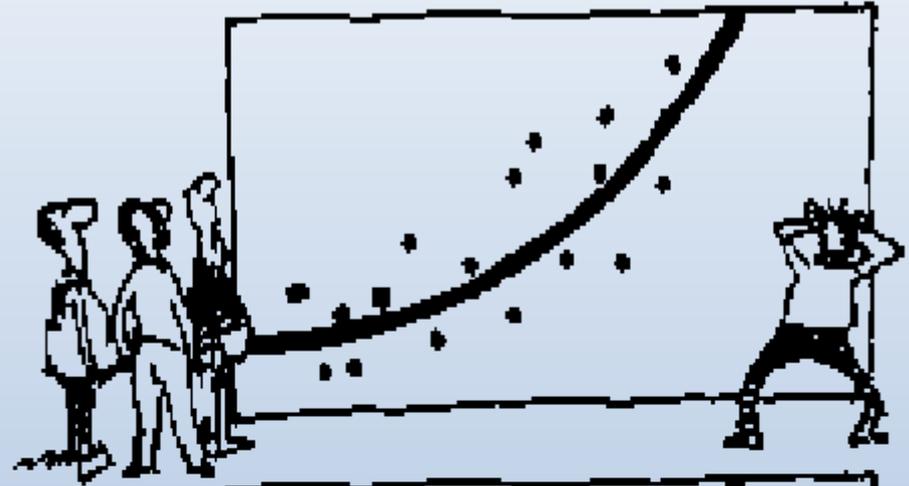
- Errores estáticos
- Errores dinámicos

Tipos de errores

ERROR ALEATORIO

se presenta:

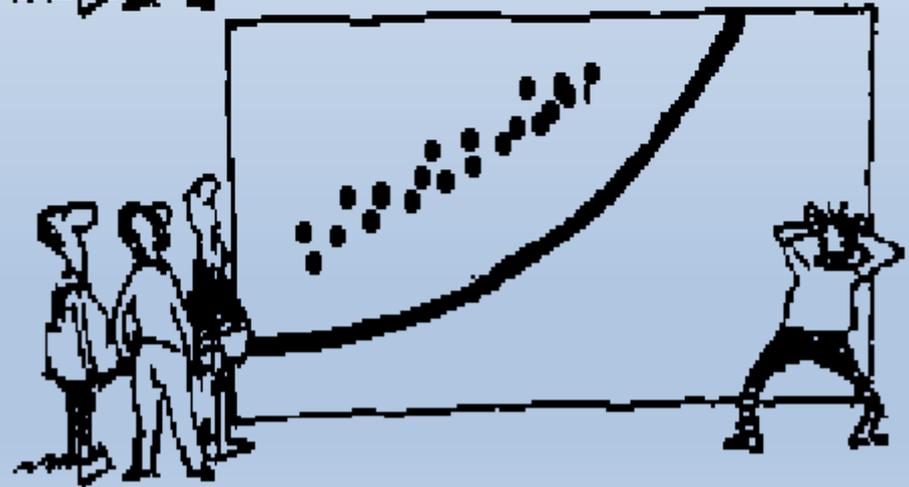
por variaciones impredecibles, temporales y espaciales, de las magnitudes de influencia.



ERROR SISTEMÁTICO

se presenta:

por un efecto reconocido, puede ser cuantificado y reducido mediante una corrección o factor de corrección para compensar dicho efecto.



ERRORES GRANDES	ERRORES SISTEMÁTICOS		ERRORES ALEATORIOS
	ERRORES DE EQUIPO	ERRORES AMBIENTALES	
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mala lectura de los instrumentos 2. Cálculos errados 3. Instrumento no apropiado 4. Ajuste incorrecto u olvido del cero 5. Efectos de carga despreciados 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fricción en los rodamientos 2. Componentes no lineales 3. Error de calibración 4. Equipo dañado 5. Pérdidas durante la transmisión 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cambios de temperatura, humedad, campos eléctricos y magnéticos errantes 	<p>Eventos desconocidos que causan variaciones pequeñas en las mediciones. A menudo bastante inexplicables y al azar.</p>

COMO ESTIMARLOS

<p>No es posible estimar su valor matemáticamente</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Compare con patrones más aproximados. 2. Determine si el error es constante o proporcional 	<p>Cuidadoso registro de los cambios de las variables. Cálculo de los cambios esperados</p>	<p>Tomar muchas lecturas y aplicar análisis estadístico para variaciones inexplicables</p>
---	--	---	--

MÉTODOS DE ELIMINACIÓN O REDUCCIÓN

<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuidadosa atención a los detalles cuando realiza las mediciones y los cálculos 2. Advertir las limitaciones de los instrumentos 3. Utilizar dos o más observadores para tomar datos críticos 4. Tomar al menos tres lecturas para evitar errores de apreciación 5. Estar motivado en la obtención de resultados correctos importantes 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuidadosa calibración de los instrumentos 2. Revisión del equipo para lograr y asegurar una operación apropiada 3. Aplicar correctamente los factores una vez hallados los errores del instrumento 4. Utilice uno o más métodos para medir un parámetro 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Selle herméticamente los equipos y componentes bajo prueba 2. Mantenga constante la temperatura y la humedad por medio de acondicionamiento de aire 3. Blinde los componentes y equipos contra campos magnéticos errantes 4. Utilice equipo que no sea afectado apreciablemente por cambios en el medio ambiente 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Diseño cuidadoso de los instrumentos de medición para evitar interferencias indeseadas 2. Uso de la evaluación estadística para la mejor estimación de los verdaderos valores de las lecturas logradas en las mediciones
--	---	--	--

Errores de medida

Errores humanos

Ejemplos:

- Lecturas falsas
- Errores de cálculos
- Elección inadecuada de equipo
- Ajustes incorrectos
- Efectos de carga

Estimación:

- No pueden cuantificarse

Método de reducción:

- extremando la atención
- Motivación por resultados correctos
- Respeto límites de equipos
- Duplicar observadores
- Múltiples medidas

Errores del sistema

Errores del equipo

Ejemplos:

- Errores de no linealidad
- Errores de calibración
- Avarías
- Falsos contactos

Estimación:

- Validación con equipo estándar
- Comprobando la naturaleza del error (constante o proporcional)

Método de reducción:

- Calibración
- Prueba y validación de los equipos
- Replicando los equipos.

Errores ambientales

Ejemplos:

- Cambios de parámetros ambientales
- Campos eléctricos y magnéticos
- Interferencias permanentes

Estimación:

- Monitorización parámetros ambientales
- Midiendo un estándar como referencia

Método de reducción:

- Sellado hermético
- Ambiente controlado
- Apantallamientos y tierras

Errores aleatorios

Ejemplos:

- Ruidos
- Interferencias aleatorias
- Uso de técnicas estadísticas

Estimación:

- Análisis estadísticos del proceso de medida

Método de reducción:

- Diseño anti-interferencias
- Uso de técnicas estadísticas de medida

Linealidad

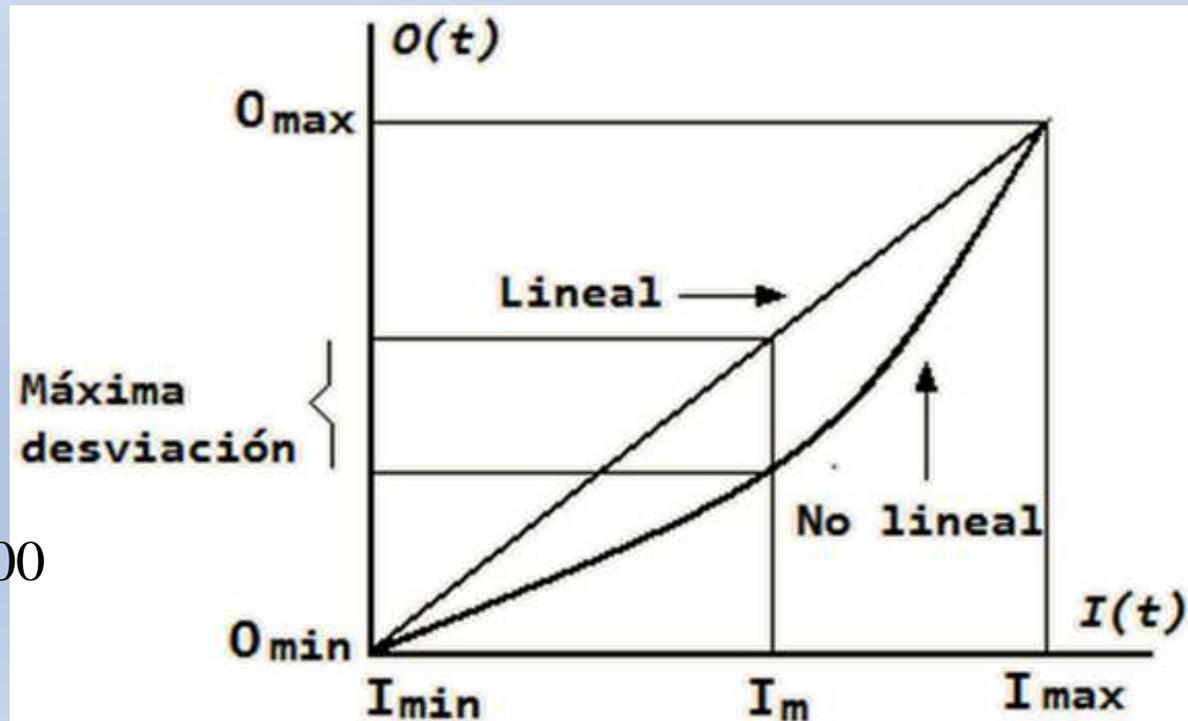
Se dice que un elemento es **lineal** si los valores correspondientes de I (input) y O (output) **están sobre una línea recta**.

$$O(t) - O(t)_{\min} = \left[\frac{O(t)_{\max} - O(t)_{\min}}{I(t)_{\max} - I(t)_{\min}} \right] [I(t) - I(t)_{\min}] \quad K = \frac{O(t)_{\max} - O(t)_{\min}}{I(t)_{\max} - I(t)_{\min}}$$

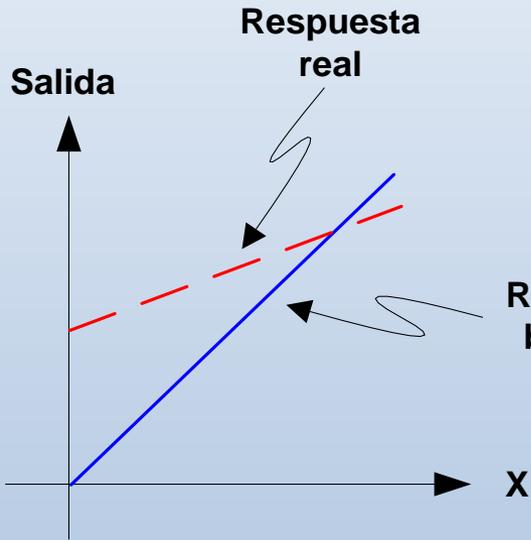
$$O(t)_{Ideal} = KI + a$$

$$N(I) = O(I) - (KI + a)$$

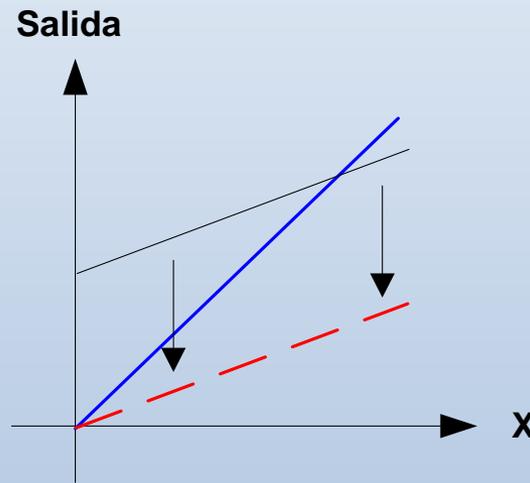
$$N(\%) = \frac{N(I)}{O(t)_{\max} - O(t)_{\min}} \times 100$$



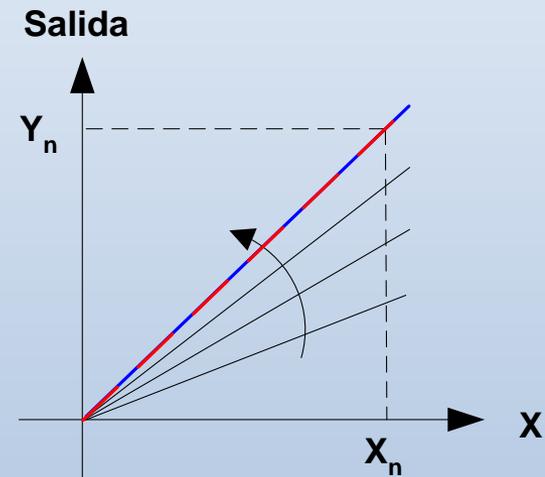
Calibración



(a)



(b)



(c)

Otros términos

- Factor de escala
- Clase
- Deriva
 - Deriva de cero
 - Deriva térmica de cero
- Fiabilidad
- Ruido

- Temperatura de servicio
- Vida útil
- Reproductibilidad
- Rangeabilidad
- Resolución infinita
- Respuesta frecuencial

Ejemplos de especificaciones

Voltímetro DC - digital

Rango	Resolución	Precisión
200 mV	100 μ V	$\pm(0.1\%$ de lectura ± 1 dígito)
1000 V	1 V	
Impedancia de entrada ...10 M Ω en todos los rangos		Protección por sobre voltaje 1000 Vdc.
Tiempo de respuesta menor a 1 sec.		Relación de Rechazo al Modo Común > 100 dB a 50 Hz

Voltímetro AC - digital

Rango	Resolución	Precisión	
		45 Hz a 2 KHz	2 KHz a 20 KHz
200 mV	100 μ V	$\pm(0.5 \%$ de lectura ± 2 dígito)	$\pm(5 \%$ de lectura ± 5 dígito)
1000 V	1 V		
Impedancia de entrada ...10 M Ω en todos los rangos en paralelo con menos de 100 pF		Protección por sobre voltaje 750 RMS ó 1000 Voltios pico.	
Tiempo de respuesta menor a 2 seg.		Relación de Rechazo al Modo Común > 100 dB a 50Hz	

Bibliografía

- Antonio Creus. “Instrumentación Industrial”. 8ª Edición. Editorial Alfaomega. Barcelona, España. 2010. Pág. 775
- John Bentley. “Sistemas de Medición. Principios y Aplicaciones”. CECSA
- Héctor Navarro. “Instrumentación Electrónica Moderna”. Editorial Innovación Tecnológica-Facultad de Ingeniería Universidad Central de Venezuela. Caracas Venezuela. 1995. Pag. 285.
- Ramón Pallas Areny “Sensores y Acondicionadores de Señal”. Editorial Marcombo, D.F. México. 2001 Pag. 480.
- National Instrument “Software advance in Measurements and Instrumentation”, Octubre, 1992. Part Number 350107-01.

Bibliografía

- GUÍA TÉCNICA COLOMBIANA GTC-ISO/IEC 99. Vocabulario internacional de metrología. Conceptos fundamentales, generales y términos asociados (VIM). Diciembre, 2009
- NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 2194. Vocabulario de términos básicos y generales en metrología. Nov, 1997.
- ISO/IEC Guide 99:2007 International vocabulary of metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM).
- CNM–MMM–PT–001. Vocabulario internacional de términos fundamentales y generales de metrología, CENAM 2000.
- International vocabulary of basic and general terms in metrology, Second edition, ISO 1993.