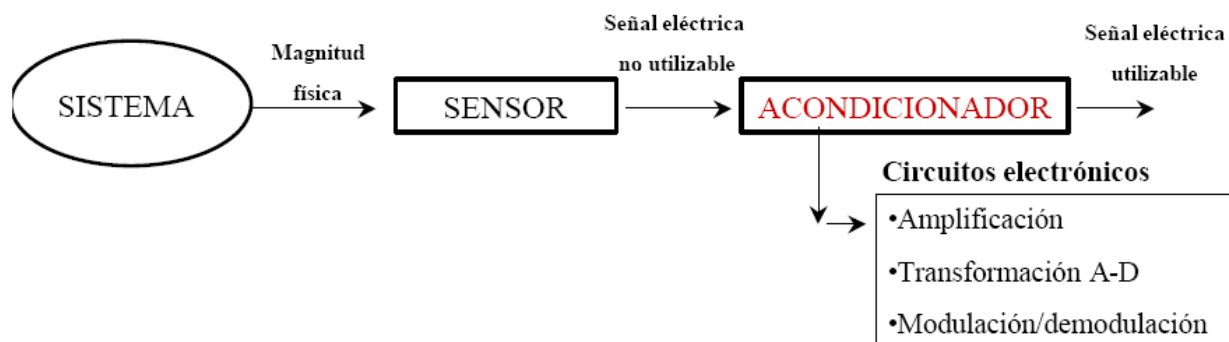


## INTRODUCCION A LA INSTRUMENTACION INDUSTRIAL.

Un **sistema de medición**, es aquel **conjunto de elementos** que forma un instrumento, **capaz de convertir una variable física en una señal** o indicación a ser interpretada por el hombre con mayor facilidad. Se puede decir que un sistema instrumentado es una extensión de la habilidad del ser humano para medir y controlar su entorno

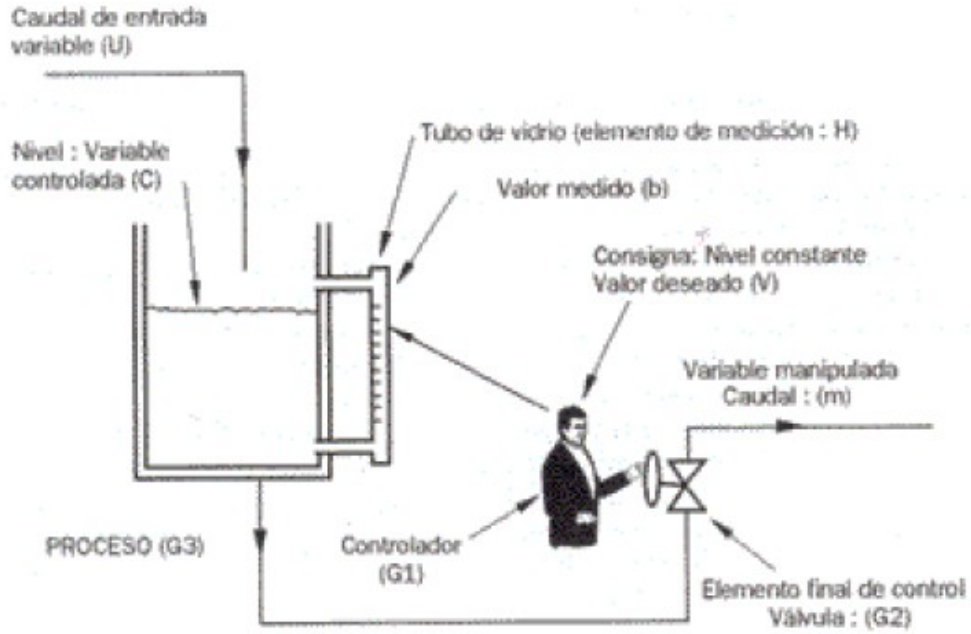
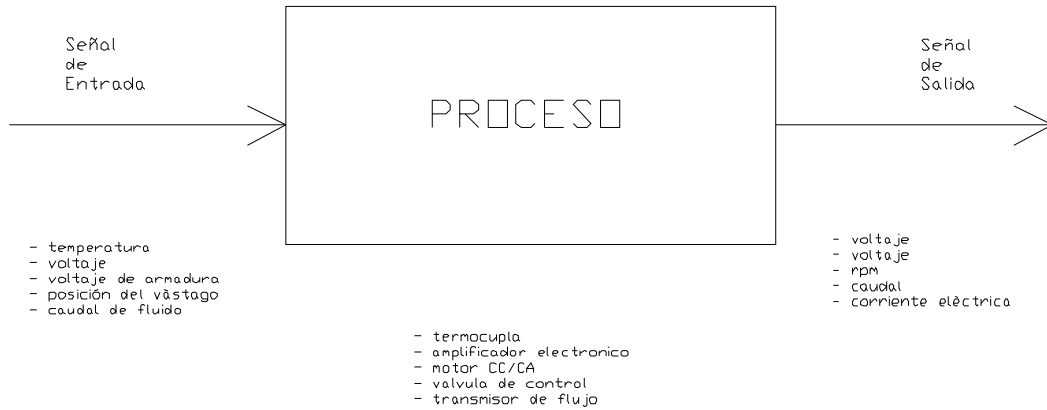


**OBS.:** Los sistemas de mediciones componen el **elemento fundamental** de los sistemas de control.

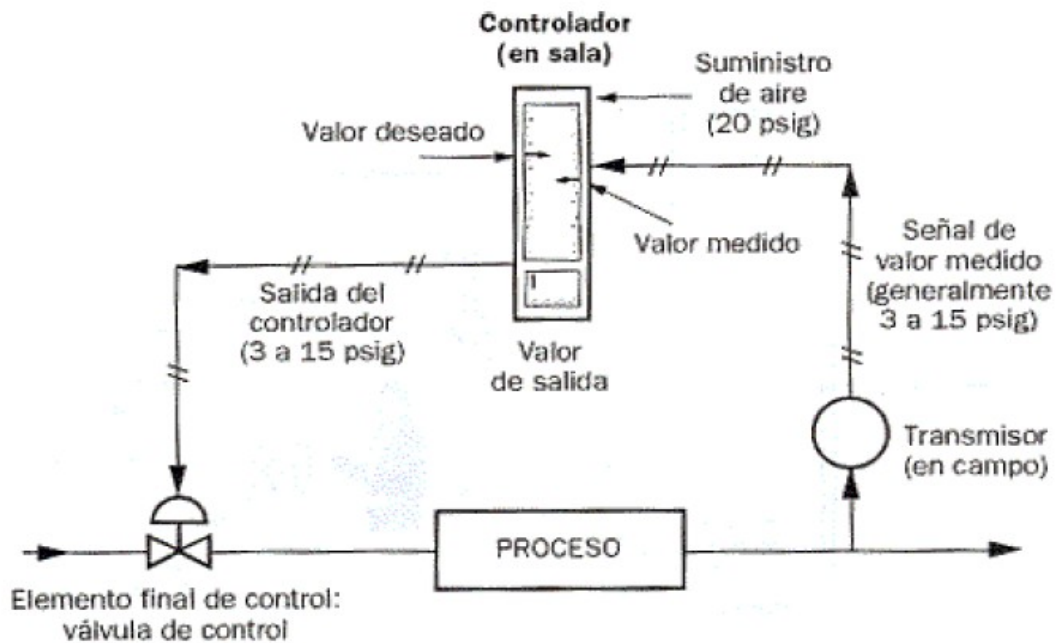
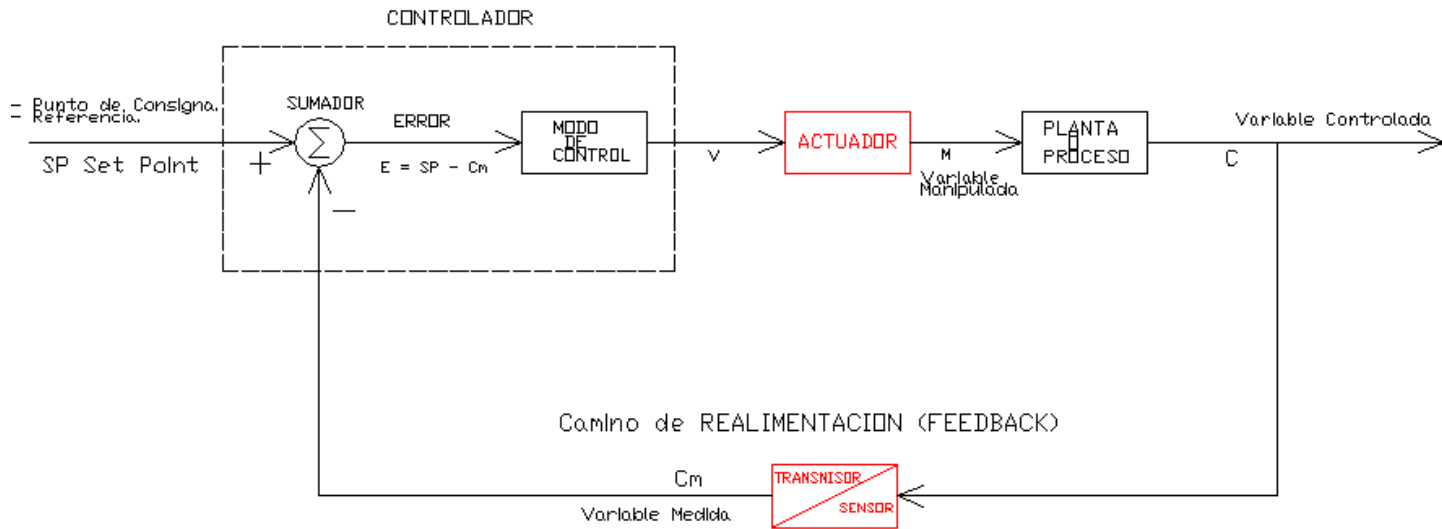
### Tipo de señales

Se denomina **señal** a toda aquella **muestra física que puede ser medida**, ya sea variable o constante en el tiempo. La principal distinción hace entre **dinámica** ó **estática** .

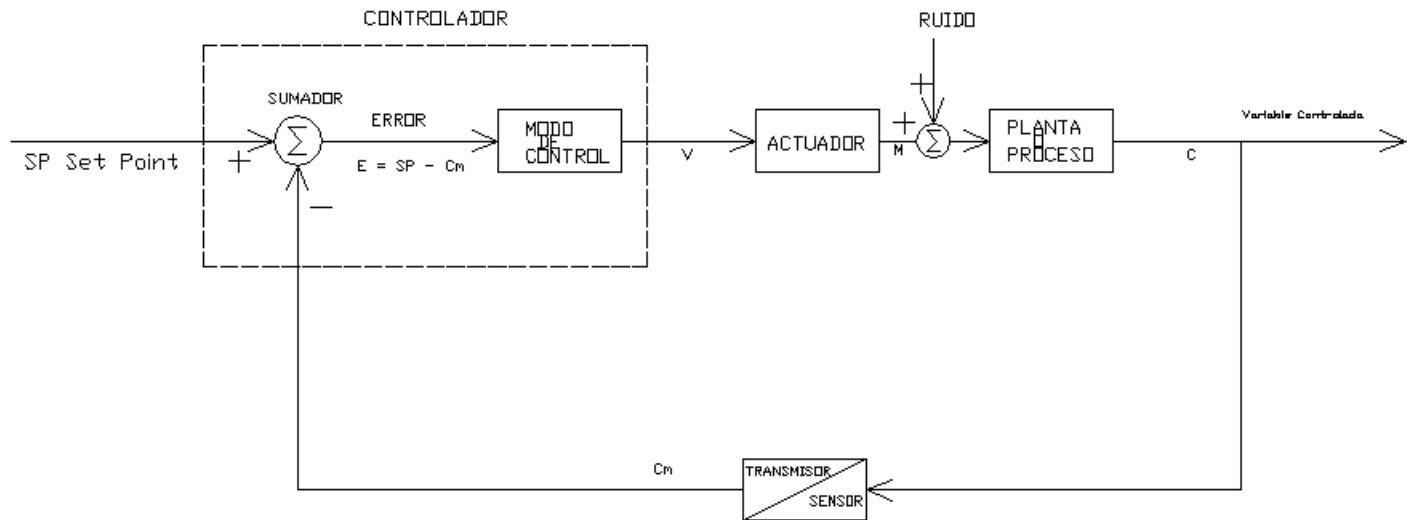
CONTROL EN LAZO ABIERTO:



### CONTROL EN LAZO CERRADO:

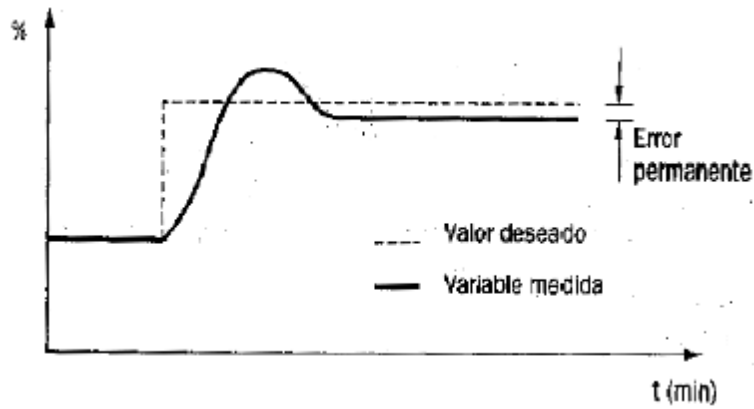


### MODELO MAS REALISTA.



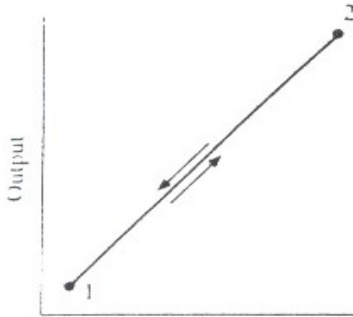
## OBJETIVOS DE LA RETROALIMENTACION

Luego de un cambio en la carga o el SP, el sistema de control debería:

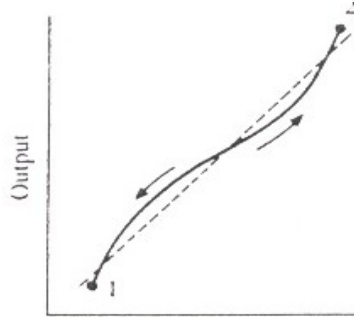


1. Minimizar el valor máximo del error.
2. Minimizar el tiempo de asentamiento.
3. Minimizar el error residual o error de offset (hay técnicas que permiten eliminarlo).

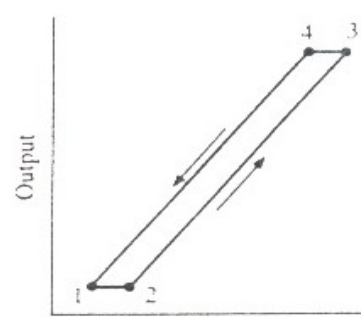
**TIPOS DE ENTRADAS Y SALIDAS EN UN PROCESO.**



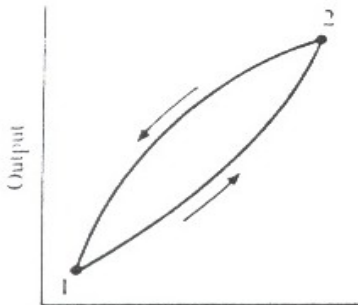
Input  
a) Linear element



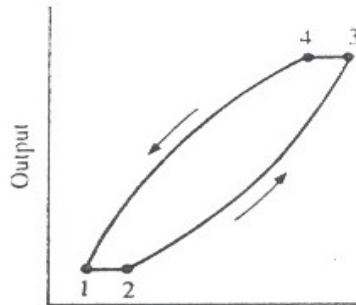
Input  
b) Element with a nonlinearity



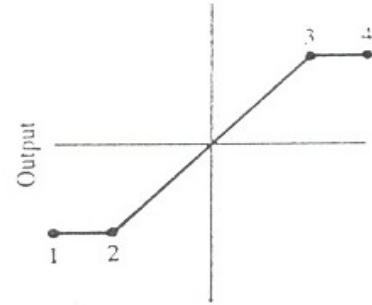
Input  
c) Element with a dead band



Input  
d) Element with hysteresis



Input  
e) Element with hysteresis and dead band

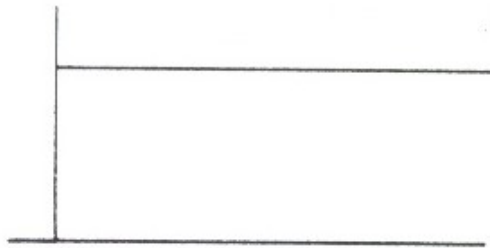


Input  
f) Element with saturation

## TIPOS DE RESPUESTAS ANTE UN ESTIMULO TIPO ESCALON

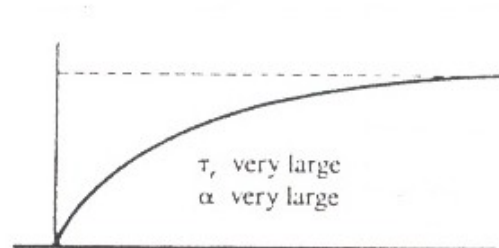
La Carga de un sistema de control, es medida por medio del valor de la variable manipulada requerido por el proceso en cada instante, para mantener una condición balanceada.

### Escalón en la entrada

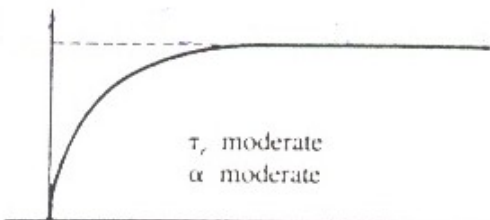


1. Step change

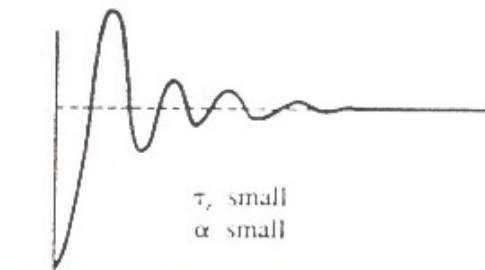
### Respuesta sobreamortiguada



2. Overdamped response



3. Critically damped response



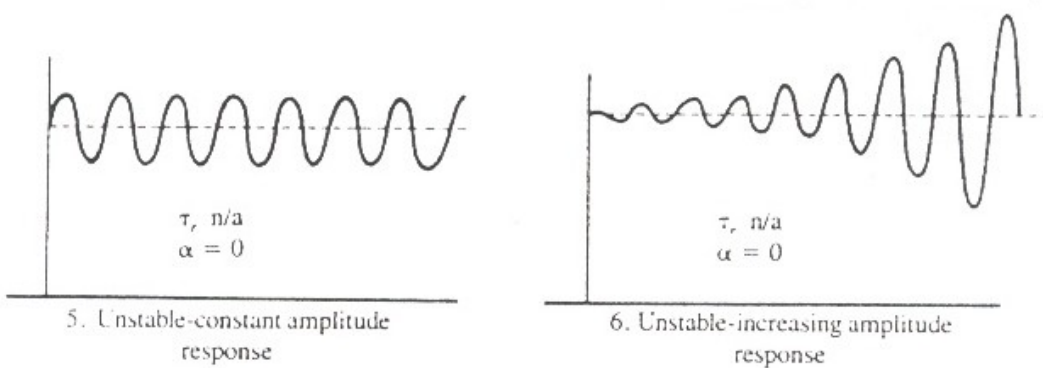
4. Underdamped response

### Amortiguamiento critico

### Respuesta subamortiguada

Dependen de:

- $\alpha$ : constante de amortiguamiento. Controla la velocidad de crecimiento o decaimiento de la respuesta al escalón unitario.
- $\tau$ : constante de tiempo de la planta ( tiempo que le lleva a la respuesta en alcanzar un 63,2% del valor final, luego de un cambio en escalón a la entrada)



**Respuesta con amplitud cte. (inestable)**

**Inestabilidad creciente**

**Def.:**  $\zeta = \frac{\alpha}{\omega_n} = \frac{\text{FactorDeAmortiguamiento Real}}{\text{FactorDeAmortiguamiento Crítico}}$

Entonces:

La respuesta es:

- **Subamortiguada si  $\xi < 1$ .**
- **Críticamente amortiguada si  $\xi = 1$ .**
- **Sobreamortiguada si  $\xi > 1$**



## CLASES DE INSTRUMENTOS.

Def.: Instrumentos ciegos: son aquellos que no tienen indicación visible de la variable.

p.e.: presostatos, termostatos, transmisores de caudal, presión y temperatura que no tengan indicación, etc.

## INDICADORES.

Disponen de un índice y de una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable.

Tipos:

- digitales.
- Analógicos.



## REGISTRADORES.

Registran con trazo continuo o a punto la variable, y pueden ser circulares o de gráfico rectangular.

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



## CARTA CIRCULAR:



CARTA RECTANGULAR:



## ELEMENTOS PRIMARIOS (SENSORES) - Capítulo que se analizará en detalle más adelante.

Son los instrumentos que están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio controlado para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable controlada.

## TRANSMISORES.

Captan la variable de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática (3 a 15 psi.) o eléctrica de corriente continua (4 a 20 mA) o de tensión (0 a 5 V).

Siendo las señales entre paréntesis, las más comunes, con la salvedad de que hay otras.

Obs.: el elemento primario puede formar parte del transmisor.



## TRANSDUCTORES.

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

p.e.:

- $p_{\text{proceso}} \rightarrow I$  (4 a 20 mA)
- $p_{\text{proceso}} \rightarrow p$  (3 a 15 psi)

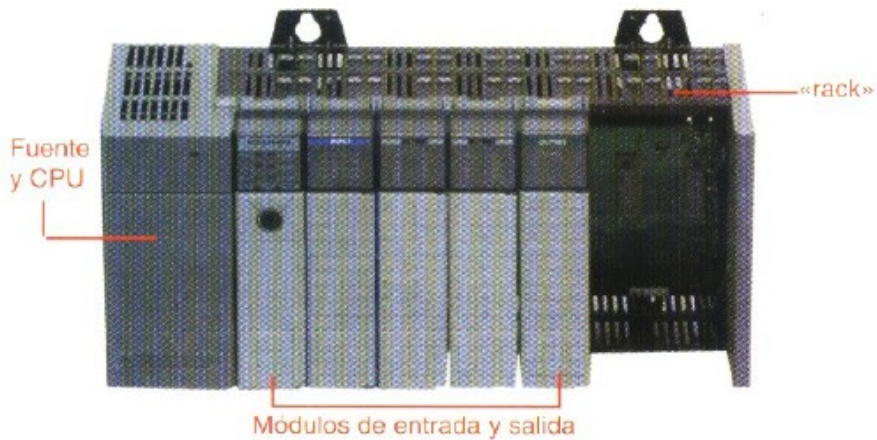
## CONVERTIDORES.

Son aparatos que reciben una señal de entrada neumática o electrónica, procedente de un instrumento y después de modificarla envían la resultante en forma de señal de salida estándar.

## CONTROLADORES.

Comparan la variable controlada con un Set Point y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la desviación.

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



## ELEMENTOS FINAL DE CONTROL.

Reciben la señal del controlador y modifican el agente de control.



## CONTADORES.



## TEMPORIZADORES.





## CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIÓN DE SENSORES.

### Definición:

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio en el que se mide, proporciona una señal de salida transducible que es función de la magnitud que se pretende medir.

**CARACTERÍSTICAS ESTÁTICAS** - Describen la actuación de un sensor en REGIMEN PERMANENTE o con cambios muy lentos de la variable a medir.

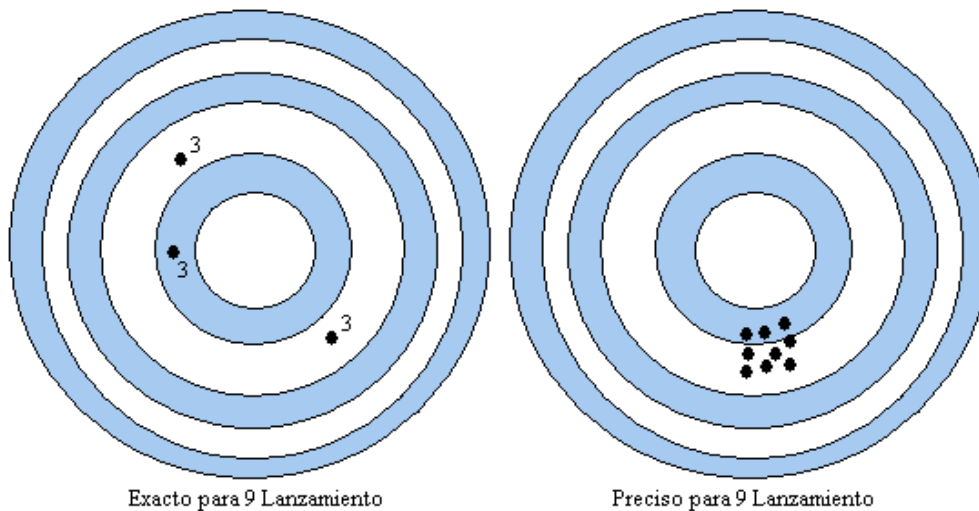
- EXACTITUD
- RANGO DE MEDIDA
- PRECISION (ACCURACY)
- ALCANCE (SPAN)
- ERROR
- LINEALIDAD
- ERROR de NO LINEALIDAD
- INCERTIDUMBRE DE UNA MEDIDA (UNCERTAINTY)
- REPETIBILIDAD (REPEATIBILITY)
- REPRODUCIBILIDAD
- SENSIBILIDAD
- RESOLUCION
- RANGEABILITY
- RANGO de TRABAJO o de OPERACIÓN
- BANDA MUERTA O ZONA MUERTA(DEAD ZONE)
- CAMPO DE MEDIDA CON ELEVACIÓN DEL CERO
- CAMPO DE MEDIDA CON SUPRESIÓN DE CERO
- ELEVACIÓN DE CERO
- SUPRESIÓN DE CERO
- DERIVA
- FIABILIDAD
- RUIDO
- CURVA DE CALIBRACION
- HISTÉRESIS

## Especificación de sensores.

Todos los instrumentos deben ser especificados a un punto tal que aseguren la operación del proceso y que permita la estimación de sus costos. Estas especificaciones se pueden sistematizar, aplicándolas tanto a sistemas sensores como a sistemas actuadores, sin que todas y cada una de las definiciones que siguen a continuación sean aplicables a todo sensor o actuador. Sin embargo, las definiciones conforman parte del léxico básico de cualquier proyecto de instrumentación.

### EXACTITUD

Grado de conformidad de la salida de un instrumento de medida con el valor ideal de la variable medida. Define los límites de errores que se cometen cuando un instrumento se utiliza bajo condiciones de referencia. Como una especificación de funcionamiento, la exactitud debe asumirse como “exactitud de referencia”



### RANGO DE MEDIDA (RANGE)

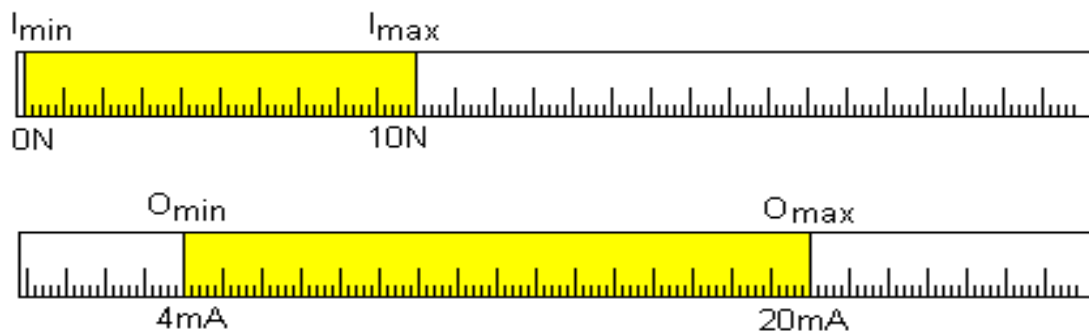
Es el campo de medidas de la magnitud de entrada comprendido entre el máximo y el mínimo detectables por un sensor, con una tolerancia de error aceptable.

## PRESICION (ACCURACY)

La precisión es la tolerancia de medida del instrumento (intervalo donde es admisible que se sitúe la magnitud de la medida), y define los límites de los errores cometidos cuando el instrumento se emplea en condiciones normales de servicio durante un período de tiempo determinado (normalmente 1 año).

## ALCANCE (SPAN)

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



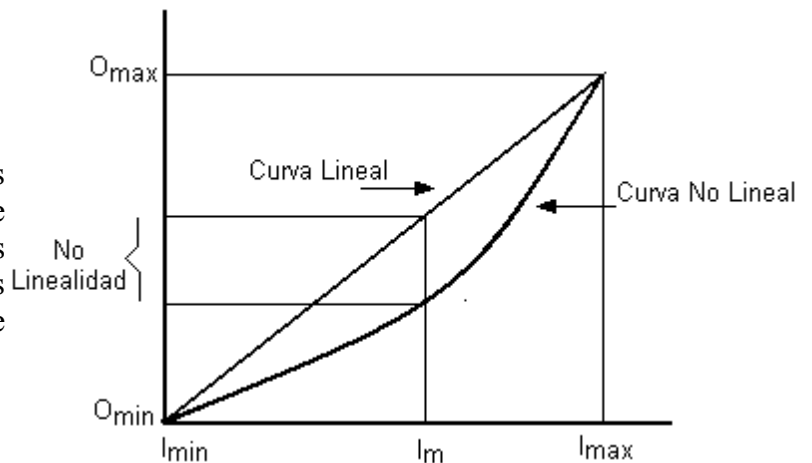
## ERROR

Expresa la diferencia entre la magnitud medida y la lectura instrumental. En toda aplicación se desearía que el error fuese 0; sin embargo, todo los instrumentos modifican su comportamiento a lo largo de su vida y es común calibrarlos de cuando en cuando.

El error se define, habitualmente, como Lectura-Valor real; si bien podría usarse a la inversa sin mayores confusiones, con tan sólo especificar que opción se usa.

## LINEALIDAD

Un sensor o transductor se dice que es lineal, si existe una constante de proporcionalidad única que relaciona los incrementos de señal de salida con los correspondientes incrementos de señal de entrada, en todo el campo de medida.



## ERROR de NO LINEALIDAD

Los instrumentos ideales son lineales. De hecho, la mayoría de los sistemas instrumentales comerciales tienen respuesta lineal. Puede ocurrir, sin embargo, que la respuesta no sea estrictamente lineal y, por ende, que ocurra un error por no linealidad de la respuesta del instrumento.

## INCERTIDUMBRE DE UNA MEDIDA (UNCERTAINTY)

La incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida.

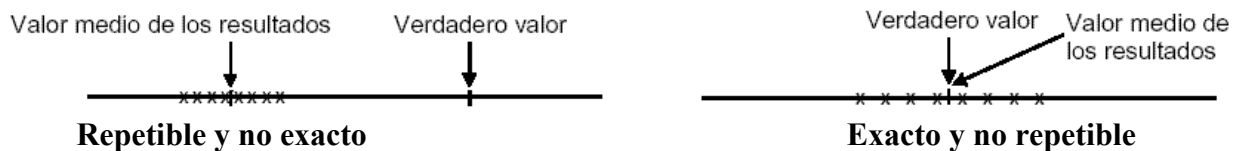
## REPETIBILIDAD (REPEATIBILITY)

Característica que indica la capacidad de reproducción de la salida del sensor al medir repetidamente valores idénticos de la variable de entrada, con el mismo sensor y en idénticas condiciones de servicio, y en el mismo sentido de variación.

Se considera en general su valor máximo (repetibilidad máxima) y se expresa en tanto % del alcance.

Obs: el término repetibilidad, no incluye la histéresis del instrumento.

Ej.:



## REPRODUCIBILIDAD

La máxima diferencia entre un cierto número de salidas para la misma entrada, tomadas en un período extenso de tiempo, aproximándose por ambas direcciones. La reproducibilidad, incluye histéresis, banda muerta, deriva y repetibilidad.

p.e.: un valor representativo sería  $\pm 0,2\%$  del alcance de la lectura o señal de salida a lo largo de un período de 30 días.

## SENSIBILIDAD

Característica que indica la mayor o menor variación de la salida por unidad de la magnitud de entrada.

## RESOLUCION

Indica la capacidad del sensor para discernir entre valores muy próximos de la variable de entrada. Se mide por la mínima diferencia entre dos valores próximos que el sensor es capaz de distinguir. Se puede indicar en términos de valor absoluto de la variable física medida o en %FS salida.

## FUERA DE RANGO

Cualquier exceso en el valor de la variable medida, ya sea por encima del límite superior del rango o por debajo del límite inferior del rango.

## RANGEABILITY

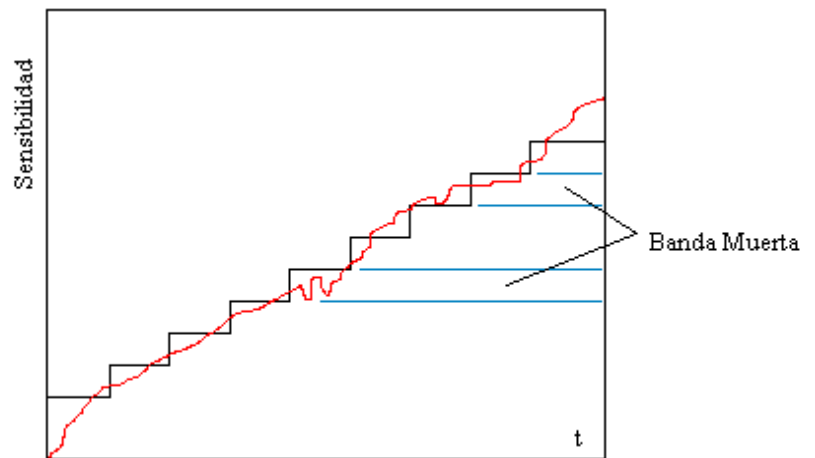
Es el cociente entre el valor de medida superior e inferior de un instrumento.

## RANGO de TRABAJO o de OPERACIÓN

Muchos instrumentos, sobre todo los industriales, permiten definir sub rangos de su rango intrínseco.

## BANDA MUERTA

Rango de valores en el cual puede variar la entrada sin producir un cambio observable en la salida



Sensibilidad de un transductor ante una señal de entrada

## **CAMPO DE MEDIDA CON ELEVACIÓN DEL CERO**

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

p.e.: -10 a 30 °C. Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

## **CAMPO DE MEDIDA CON SUPRESIÓN DE CERO**

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

Puede expresarse en unidades de la variable medida o en % del alcance.

## **DERIVA**

Es una variación en la señal de salida que se presenta en un período de tiempo determinado mientras se mantiene cte. la variable medida y todas las condiciones ambientales.

- **deriva de cero** (variación en la señal de salida para el valor cero de la medida atribuible a cualquier causa interna),
- **deriva térmica de cero** (variación de la señal de salida a medida cero, debida a los efectos únicos de la temperatura).

La deriva está expresada usualmente en porcentaje de la señal de salida de la escala total a la Temp. ambiente, por unidad, o por intervalo de variación de la temperatura

## **FIABILIDAD**

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

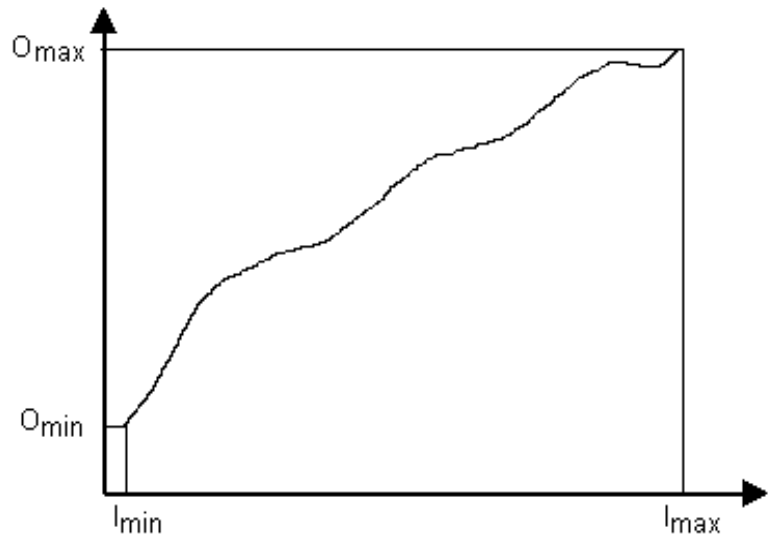
## **RUIDO**

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

## CURVA DE CALIBRACION

Estas permiten obtener una **relación directa punto a punto de la señal de salida en función de la entrada** y viceversa si es necesario.

Las curvas características se obtienen de la respuesta directa del sensor o transductor, por lo cual **cada transductor tiene su propia curva de calibración**, en algunos casos a la curva de calibración se le llama curva de respuesta en amplitud.



**Para manómetros:**

### balanza de peso muerto

Las balanzas de peso muerto, son patrones primarios de presión y vacío.



Entonces nuevamente definimos,

### LINEALIDAD

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

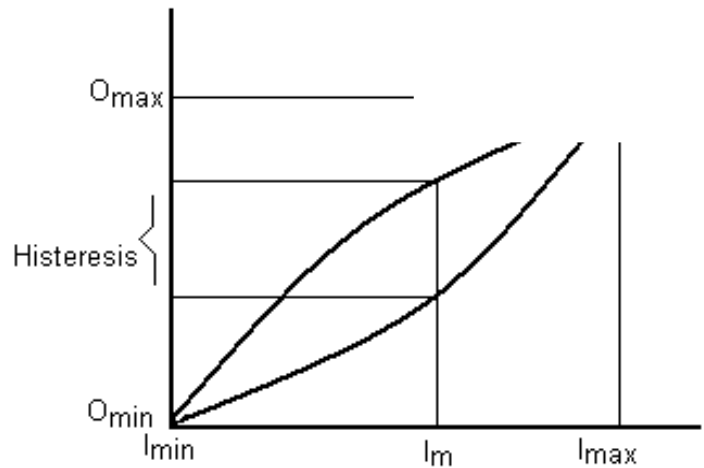


## HISTÉRESIS

Cuando se toman los datos de calibración de un instrumento, esto se hace con los datos de subida y los datos de bajada en la entrada), al representar gráficamente los datos de la medida del transductor (variable de salida o variable eléctrica), tendremos la representación de dos **curvas** de salida, una de **subida** y otra de **bajado**. Idealmente deberían ser iguales la curva, a **la diferencia entre estas dos curvas se define como la histéresis**.

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

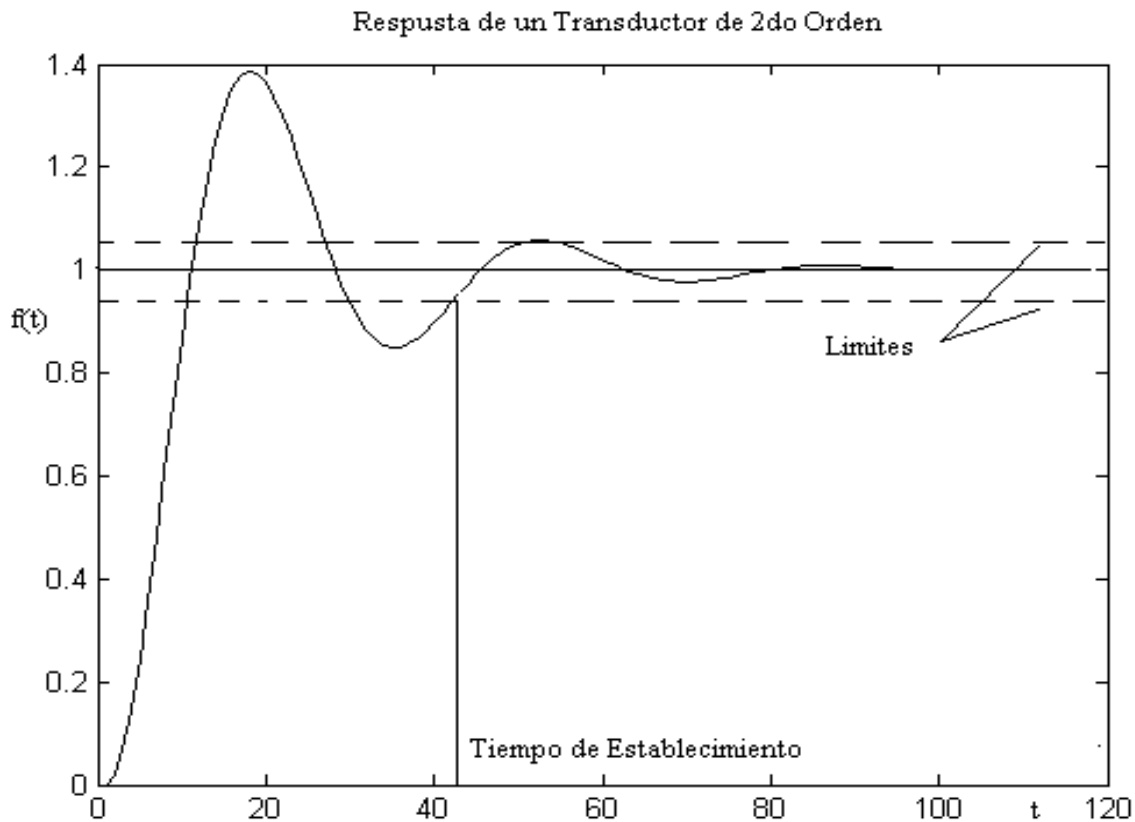
Se suele representar en tanto por ciento del alcance de la medida.





**CARACTERÍSTICAS DINAMICAS** – Son aquellas que describen al instrumento en **REGIMEN TRANSITORIO** a base de dar una respuesta temporal ante determinados estímulos estándar, e indicar las constantes de tiempo relevantes.

- **TIEMPO DE RESPUESTA**
- **TIEMPO DE RETARDO**
- **TIEMPO DE SUBIDA**
- **TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO**
- **CONSTANTE DE TIEMPO**
- **RESPUESTA FRECUENCIAL**
- **LINEALIDAD**



### **VELOCIDAD DE RESPUESTA**

Mide la capacidad de un transductor para que la señal de salida siga sin retrasos las variaciones de la señal de entrada.

### **TIEMPO DE RETARDO**

Es el tiempo transcurrido desde la aplicación del escalón de entrada hasta que la salida alcanza el 100% de su valor permanente.

### **TIEMPO DE SUBIDA**

Es el tiempo transcurrido desde que la salida alcanza el 10% de su valor permanente hasta que llega por primera vez al 90% de dicho valor.

### **TIEMPO DE ESTABLECIMIENTO**

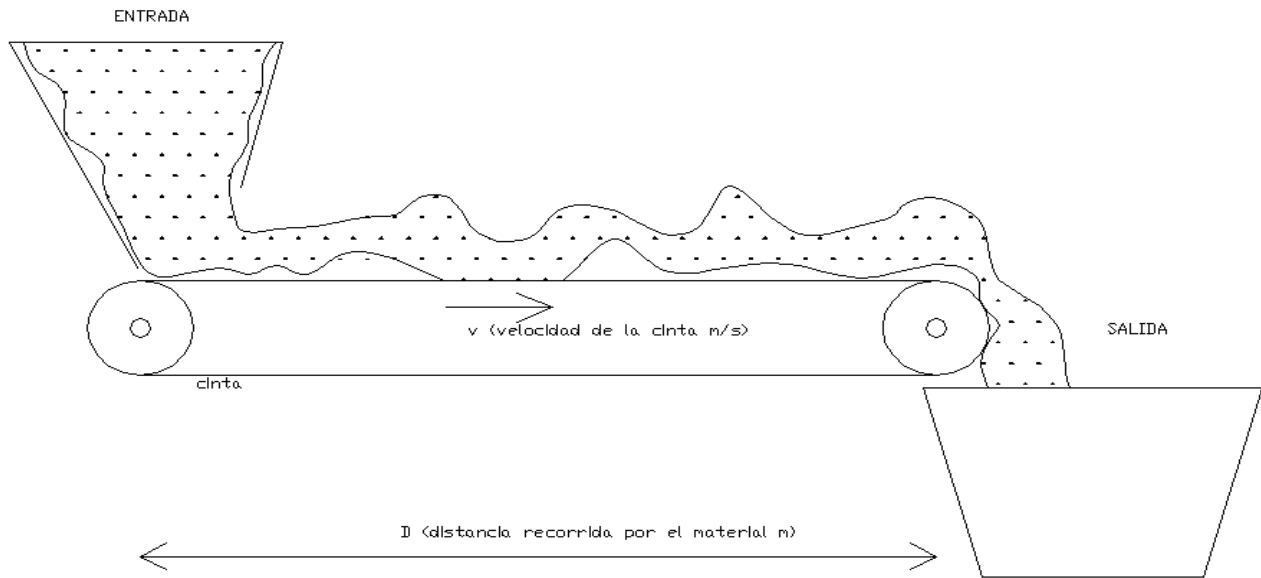
(Al 99%) Es el tiempo transcurrido desde la aplicación de un escalón de entrada hasta que la respuesta alcanza el régimen permanente, con una tolerancia de  $\pm 1\%$ .

### **CONSTANTE DE TIEMPO**

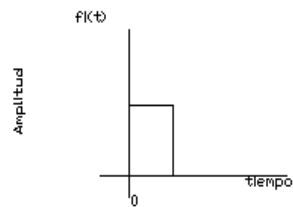
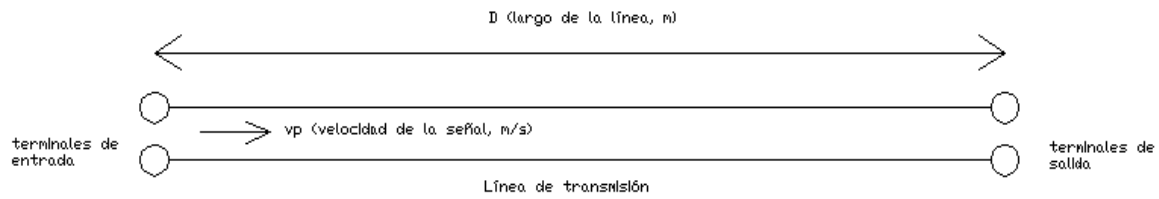
Para un transductor con respuesta de primer orden (una sola constante de tiempo dominante) se puede determinar la CONSTANTE DE TIEMPO a base de medir el tiempo empleado para que la salida alcance el 63% de su valor de régimen permanente, cuando a la entrada se le aplica un cambio en escalón.

## TIEMPO MUERTO, TIEMPO DE RETARDO.

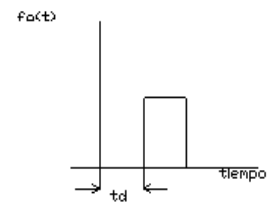
**Tiempo muerto o tiempo de retardo:** Intervalo de tiempo desde el momento en que la señal aparece en la entrada de un componente, y el momento en que la respuesta correspondiente, aparece en la salida.



$$t_d = \frac{D}{v_{cinta}}$$



Señal de Entrada



Señal de Salida

$$f_o(t) = f(t - t_d)$$

$$t_d = \frac{D}{v_{\text{señal}}}$$

## RESUMEN:

### Factores a tener en cuenta a la hora de elegir un instrumento:

Magnitud a Medir	Características Ambiente
Margen de medida	Margen de temperatura
Resolución	Humedad
Exactitud deseada	Vibraciones
Estabilidad	Agentes químicos
Ancho de banda	Atmósfera explosiva
Tiempo de respuesta	Entorno electromagnético
Limites absolutos de la magnitud a medir	
<i>Magnitudes interferentes</i>	

Características de salida	Características de Alimentación
Sensibilidad	Tensión
Tipo: tensión, corriente, frecuencia	Corriente
Salida señal: unipolar, flotante, diferencial	Frecuencia (en caso de alterna)
Impedancia (I/O)	Potencia disponible
Destino: analógico, digital, telemetría	Estabilidad

Otros factores para la selección del sensor	
Peso	Longitud de cable necesario
Dimensión	Tipo de conector
Vida media	Situación en caso de fallo
Precio de compra	Costo de mantenimiento
Disponibilidad	Costo de instalación
Tiempo de Instalación	Costo de sustitución

## TRANSMISORES

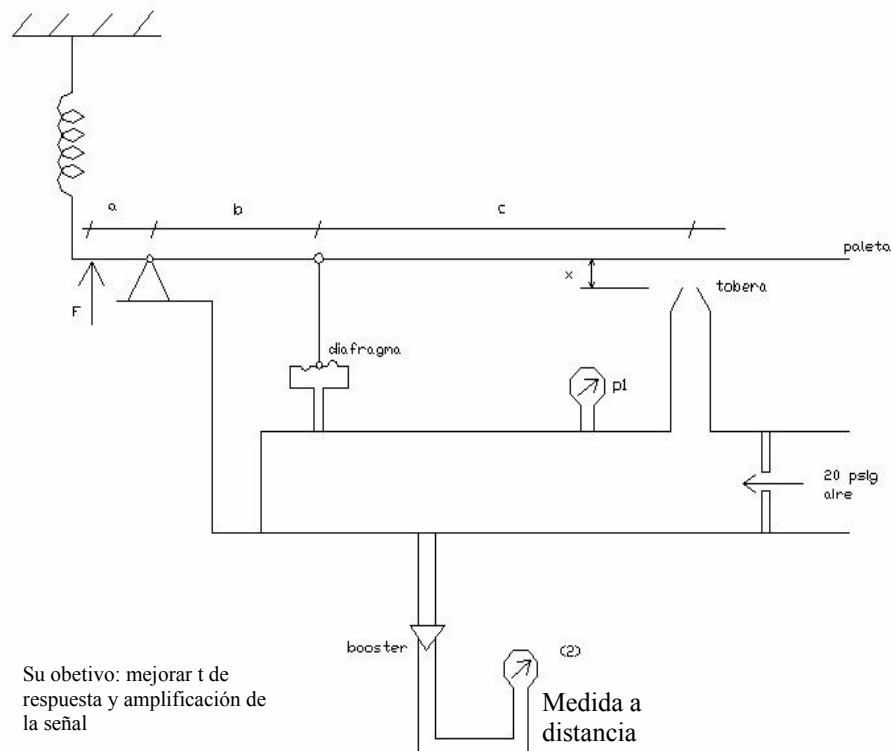
Los transmisores son instrumentos que captan la variable de proceso y la transmiten a distancia a un instrumento receptor indicador, registrador, controlador o una combinación de estos (ej. transmisor neumática).

Rango de señal estándar neumático : 3 – 15 psi para el campo de medida 0 a 100%. Para los países que utilizan el sistema métrico: 0,2 a 1 bar.

Rango de presión eléctrico: 4 – 20 mA. Dicha señal tiene un nivel suficiente y de compromiso entre la distancia de transmisión y la robustez del equipo. Al ser de continua y no alterna, elimina la posibilidad de captar perturbaciones.

### TRANSMISOR DE PRESION NEUMATICO.

**Idea:** Esquema paleta tobera (paleta-obturador): sistema que convierte el movimiento del elemento de medición en una señal neumática.



Si la paleta, está suficientemente lejos de la tobera, entonces la presión manométrica es aprox.  $p \approx 0$  (el aire, escapa con facilidad).

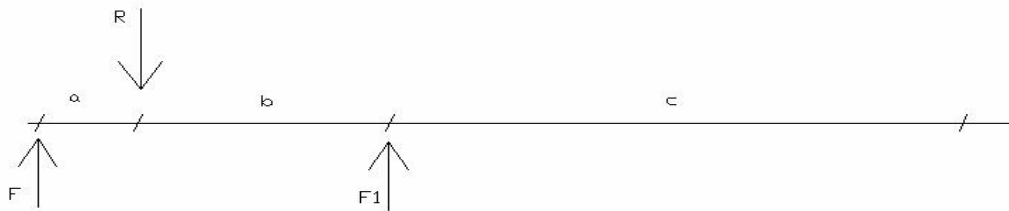
Sea  $S$  la superficie del diafragma.

Obs.: zona de estudio:

Grafica  $p_1$  vs  $x$

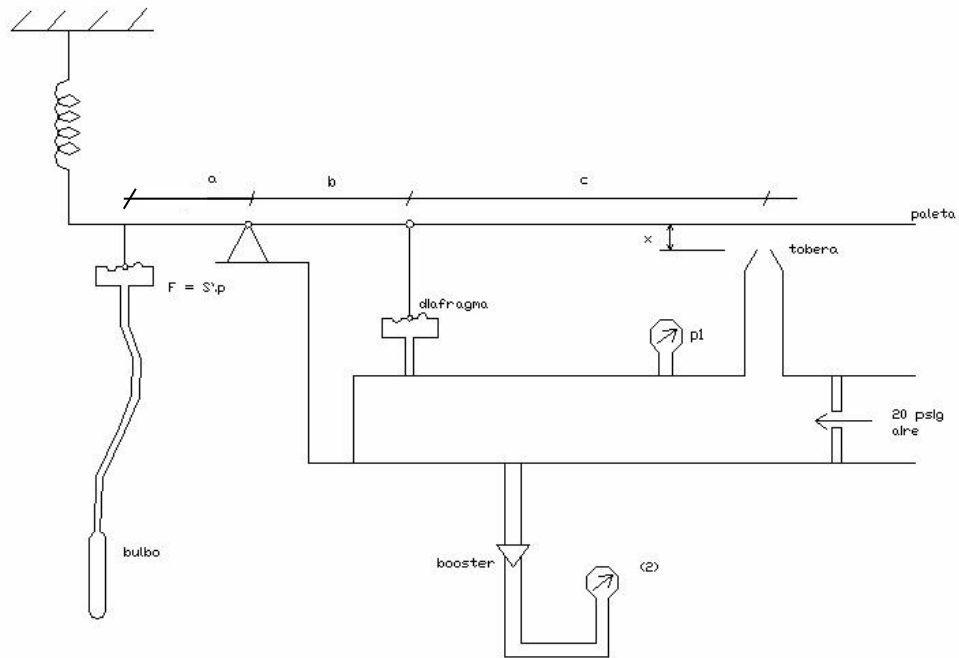
Se trabaja, en la zona lineal, zona que cubre el tramo: 3 a 15 psig.

Entonces, al desequilibrar con la fuerza  $F$ , se tapa la tobera, entonces, la presión aumenta y el diafragma ejerce una presión hacia arriba, alcanzándose el equilibrio.

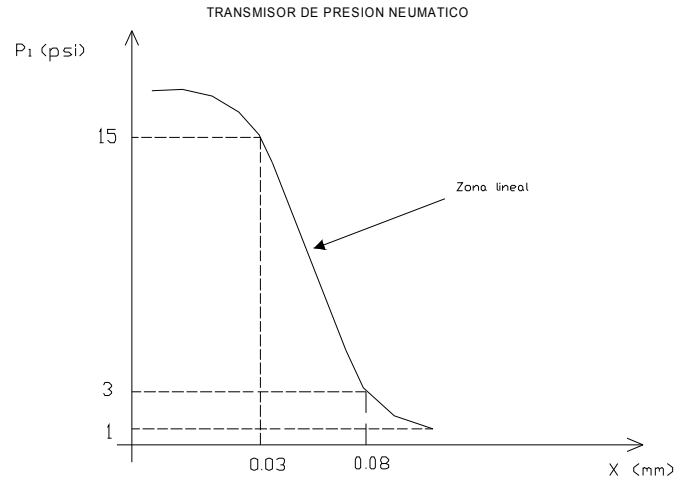


$$F_1 = S.p$$

Este tipo de transmisores se utilizan en particular en la transmisión de presión y temperatura donde los elementos de medida tales como tubos Bourdon, manómetros de fuelle, elementos de temperatura de bulbo y capilar son capaces de generar un movimiento amplio, sea directamente o bien a través de palancas con la suficiente fuerza para eliminar el error de histéresis que pudiera producirse.



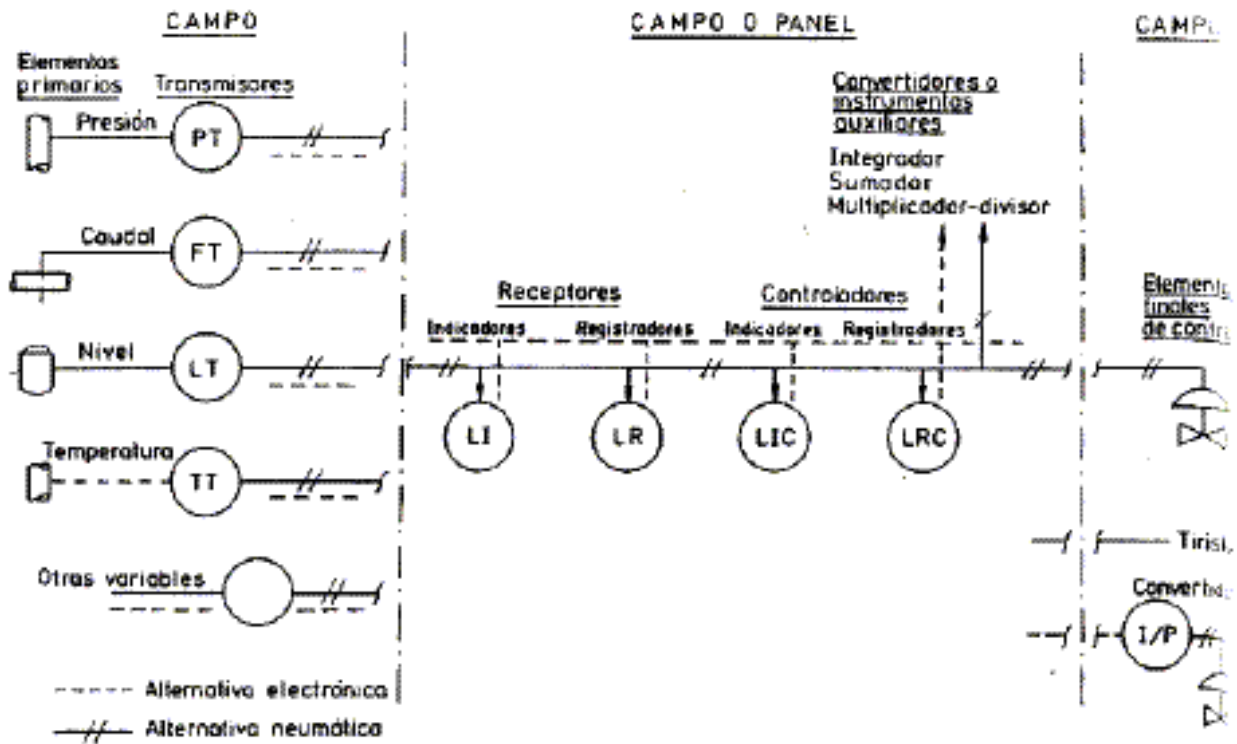




Se suele trabajar en la parte lineal de la curva para tener una relacion constante entre el valor de la variable y la señal transmitida.

**CODIGO DE IDENTIFICACION DE INSTRUMENTOS (SEGÚN ISA (Instrument Society of America) – S5.1/1993).**

**Obs.:** éstas Normas no son de uso obligatorio, pero constituyen una recomendación a seguir en la identificación de los instrumentos en la industria.



Cada instrumento debe identificarse con sistema de letras que lo clasifique funcionalmente.

TAGS: etiquetas de los instrumentos



1ª letra: variable medida o relacionada.

2ª letra: puede cualificar a la primera

D	diferencial
F	relación
S	seguridad
Q	integración



3ª y sig:            Función del Instrumento

I	indicador	
R	registro	
C	control	
T	transmisor	
V	válvula	
Y	cálculo	
	H	alto
	L	bajo

Nota: Si el aparato está montado en forma local, o lleva la traza horizontal

**VARIABLES DE INTERES MAS IMPORTANTES:**

F – flujo  
p – presión  
T – temperatura  
L – nivel  
S – velocidad  
Z – posición  
M – humedad  
D - densidad

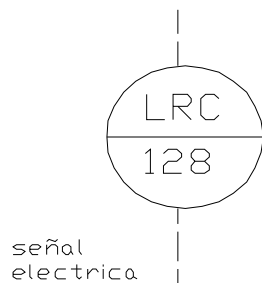
1.ª Letra		Letras sucesivas		
Variable medida (3)	Letra de modificación	Función de lectura pasiva	Función de salida	Letra de modificación
A	Análisis (4)	Alarma	Libre (1)	Libre (1)
B	Llama (quemador)	Libre (1)	Libre (1)	Libre (1)
C	Conductividad	Control	Control	
D	Densidad o peso específico	Diferencial (3)		
E	Tensión (f.e.m.)	Elemento primario		
F	Caudal	Relación (3)		
G	Calibre	Vidrio (8)		
H	Manual			Alto (6) (13) (14)
I	Corriente eléctrica	Indicación (9) o indicador		
J	Potencia	Exploración (6)		
K	Tiempo		Estación de control	
L	Nivel	Luz piloto (10)		Bajo (6) (13) (14)
M	Humedad			Medio o inter-medio (6) (13)
N	Libre (1)	Libre	Libre	Libre
O	Libre (1)	Orificio		
P	Presión o vacío	Punto de prueba		
Q	Cantidad	Integración (3)		
R	Radiactividad	Registro		
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad (7)	Interruptor	
T	Temperatura		Transmisión o transmisor	
U	Multivariable (5)	Multifunción (11)	Multifunción (11)	Multifunción (11)
V	Viscosidad		Válvula	
W	Peso o Fuerza	Vaina		
X	Sin clasificar (2)	Sin clasificar	Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Libre (1)		Relé o computador (12)	
Z	Posición		Elemento final de control sin clasificar	

## INSTRUMENTOS:

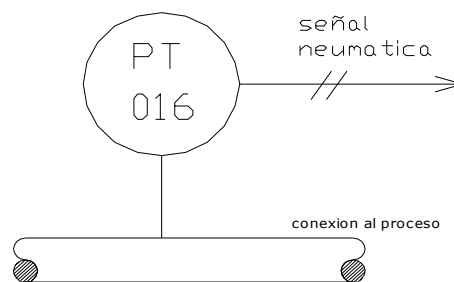
Indicadores  
Transmisores  
Registradores  
Convertidores  
Controladores  
Actuadores  
Transductores

## FUNCION DEL INSTRUMENTO:

I	indicador
R	registro
C	controlador
T	transmisor
V	válvula
Y	cálculo (conversor)
H	alto
L	bajo



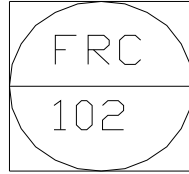
Montaje en panel



Montaje en campo

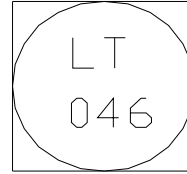
El número es el mismo en todos los instrumentos de un mismo lazo de control

## Instrumentos digitales



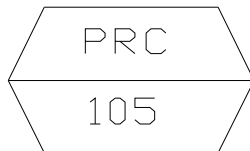
Comparte varias funciones:  
displays, controles, etc.  
Configurable por software.  
Acceso por red.

Accesible al operario

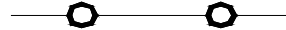


Normalmente no accesible al  
operario

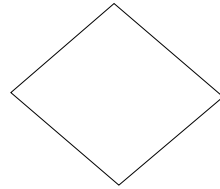
Controlador de DCS, regulador  
por microprocesador



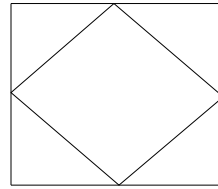
Computador.  
Destino del controlador  
de un DCS.  
Varias funciones:  
registros, alarmas, etc.  
Acceso por red



Conexion software o  
por red digital

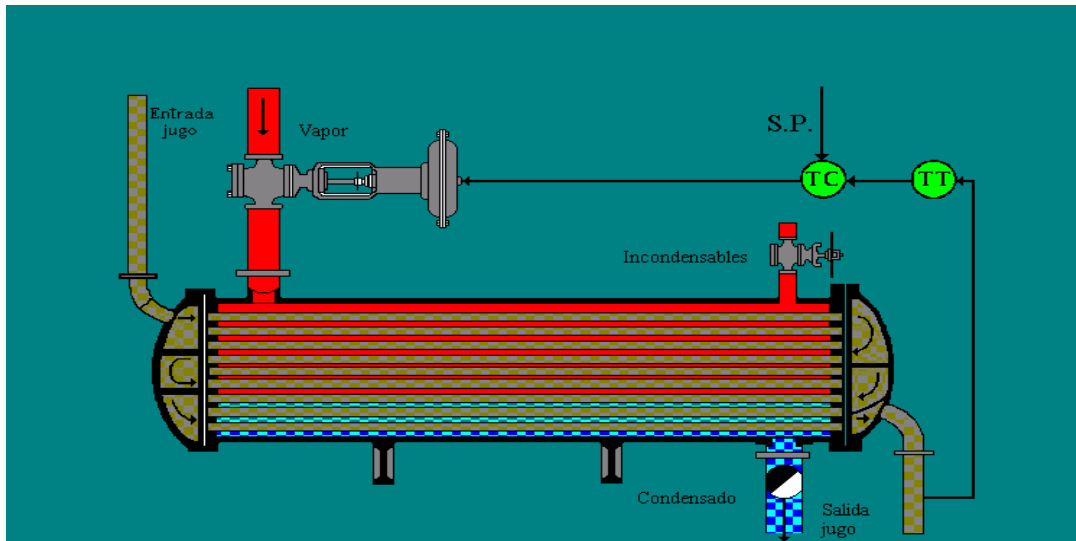


Control lógico o  
secuencial

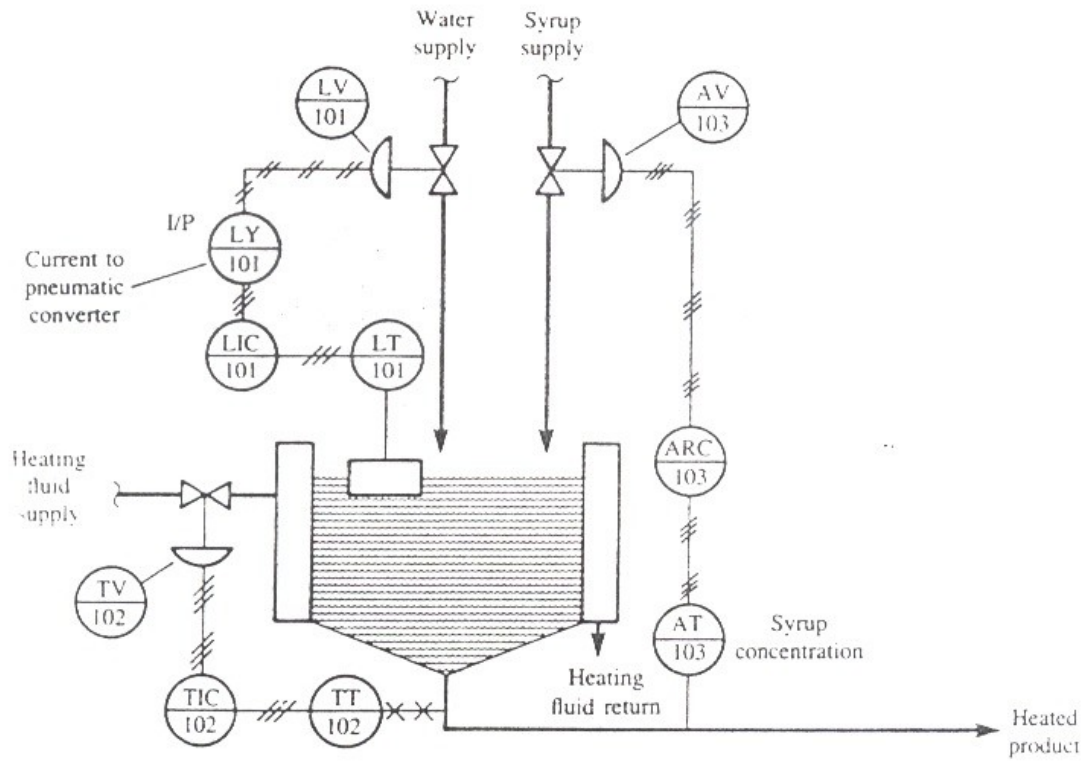


PLCs o secuencias  
/ lógicas de un  
DCS




**Ejemplo:**



APLICACIÓN DE UN LAZO DE CONTROL.



Instrument Line Symbols

	3-15 psi pneumatic line
	4-20 mA electric current
	Filled system capillary

First ID Letter

A	Analysis
L	Level
T	Temperature

Following ID Letters

C	Controller
I	Indicator
R	Recorder
T	Transmitter
V	Valve
Y	Relay {converter}

**OBJETIVO:** control de la temperatura de la paila

Para el proceso, se quiere:

- transmisor de señal 4-20 mA
- registrar la variable
- controlar e indicar la variable
- manipular la válvula en forma neumática
- registrar en forma local la variable

