

# Sensores y Actuadores

## TRABAJO PRÁCTICO N° 2

### **Profesores:**

**Ing. JORGE E. MORALES**

**Tec. Sup. Mecatrónica C. GONZALO VERA**

**2022**



## Prácticas de sensores resistivos

### *La modalidad será la siguiente:*

Cada práctica se desarrollará en forma grupal, debiendo subir el desarrollo de la misma al repositorio establecido por grupo. Los ejercicios serán implementados de forma que a cada integrante le corresponda 1 o más tareas (issues); por lo que deberán crear el proyecto correspondiente, con la documentación asociada si hiciera falta, y asignar los issues por integrante. De esta forma quedara documentada la colaboración de cada alumno.

### Ejercicio 1

#### a) Explique que es régimen estático y transitorio de un sensor.

Para realizar las tareas de control de un proceso industrial, los **sensores** nos permiten conocer el valor de las variables físicas adecuadas que participan en el proceso y convertirlas en señales eléctricas. En base a estas señales, el programa de control debe marcar las directrices de actuación sobre las máquinas y elementos que intervienen en el proceso.

Según el régimen de funcionamiento del sensor distinguimos dos conjuntos de características:

Régimen estático: describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir.

Régimen transitorio: describen la actuación del sensor en forma dinámica, o sea frente a variaciones en un período de tiempo.

#### b) Enumere las características estáticas de un sensor.

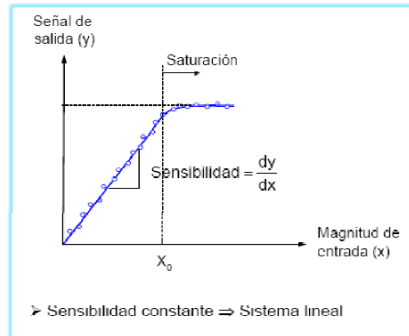
#### c) Detalle brevemente que significa cada una de estas características estáticas.

### Características estáticas

- **Curva de Calibración**

Relación entre la entrada aplicada al sensor y su salida en régimen estático. Permiten tener una relación directa punto a punto de la señal de salida en función de la entrada y viceversa.





- **Salida a Fondo de Escala**

Diferencia entre las salidas correspondientes a los extremos del campo de medida.

**Valor Nominal del Fondo de Escala FSD (Full Scale Deflection):**

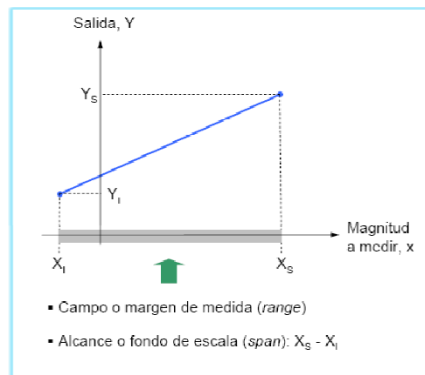
Es el valor máximo de dicho intervalo. Indica el límite práctico de utilización del sensor sin que se alteren las características establecidas por el fabricante. Índice de rotura o de sobrecarga Valor por encima del cual se causan daños permanentes al sensor.

**Sobrecarga (Overload)**

Valor por encima del cual se pueden causar daños permanentes al sensor. En la zona de sobrecarga el sensor no sufre daños permanentes, pero pierde la calibración.

**Índice de rotura o de sobrecarga**

Valor por encima del cual se causan daños permanentes al sensor.



- **Linealidad**

Expresa el grado de coincidencia entre la curva de calibración y una línea recta determinada.

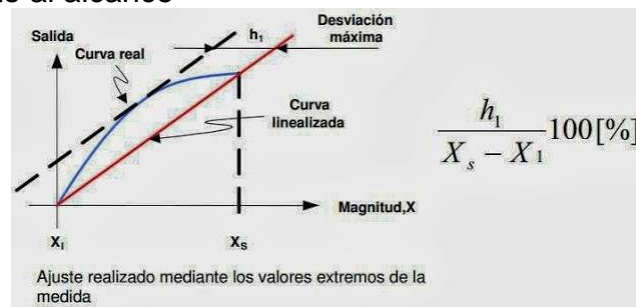
**Linealidad independiente:** La recta se define por el método de mínimos cuadrados. De esta forma, el máximo error positivo y el mínimo error negativo son iguales. Es la que da mejor calidad.

**Linealidad ajustada al cero:** La recta se define por el método de los mínimos cuadrados con la restricción adicional de pasar por cero.

**Linealidad terminal:** La recta se define por la salida sin entrada y la salida teórica máxima, correspondiente a la mayor entrada admitida.

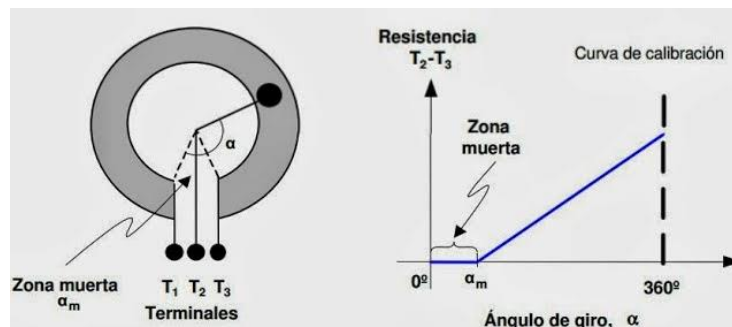
- **No Linealidad**

Máxima desviación de la curva de calibración con respecto a la recta. El valor de la no linealidad se suele expresar en % respecto al alcance



- **Zona Muerta**

Campo de valores de la variable de entrada que no hace variar la salida. Provoca una región de la curva de calibración con sensibilidad nula.

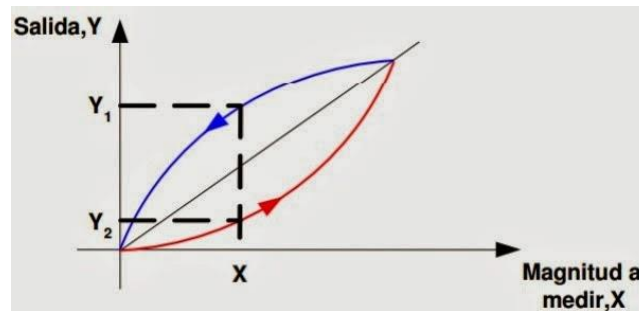


- **Histéresis**

Diferencia entre los valores de la salida correspondientes al mismo valor de la entrada según se alcance en un sentido o en otro.

**Histéresis en sensores todo o nada:**

La histéresis se utiliza en los sensores todo o nada para eliminar las oscilaciones que aparecen a la salida del sensor cuando el nivel de la variable de entrada coincide con el que hace cambiar de estado la salida.



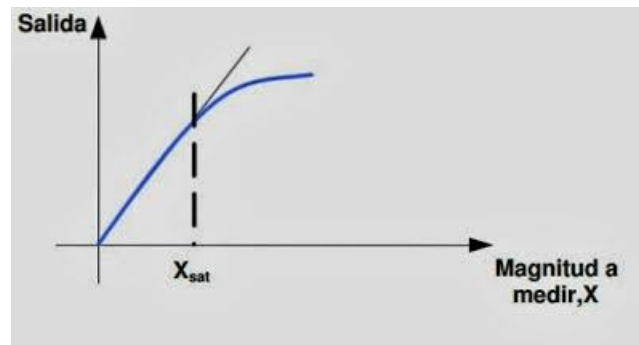
- **Deriva**

Variación de algún aspecto de la curva de calibración con respecto a algún parámetro ambiental (temperatura, humedad, etc.) o con respecto al tiempo.

La deriva o error de desviación (Offset) suele ser lineal con la medida y por ello se calcula como el valor de salida con entrada nula. Se expresa en % respecto al alcance.

- **Saturación**

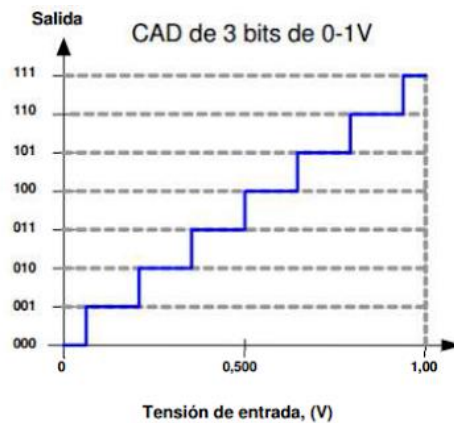
Nivel de entrada a partir del cual la sensibilidad disminuye de forma significativa.



- **Rango o Campo de Medida**

Es el conjunto de los valores correspondientes a la variable que es objeto de la medida, y que están comprendidos dentro de los límites superior e inferior de la capacidad de medida del instrumento; se expresa mediante los valores extremos. Por ejemplo, un equipo para la medida de temperatura puede tener un rango de 0 a 100 °C. Los instrumentos suelen incorporar distintos rangos. La selección del rango determina el valor de otras características estáticas.

- **Resolución**



Cuando un instrumento muestra una determinada lectura de salida, existe un límite inferior dado por el mínimo cambio en la entrada o medida que produce un cambio observable en la salida o lectura del instrumento. Por tanto, la resolución es la menor porción de señal que puede ser observada. En equipos analógicos suele expresarse como un valor absoluto (algunas veces como porcentaje del fondo de escala), y viene dada también por la "fineza" con que la escala indicadora de salida se subdivide. Por ejemplo, en el indicador de velocidad de un coche, podemos encontrar subdivisiones de 20 km/h. Entre cada subdivisión encontramos también marcas de 5 km/h. Estos espacios menores determinan la resolución del instrumento, ya que entre cada dos marcas separadas 20 km/h no podemos medir la velocidad apreciando variaciones menores que  $\pm 5$  km/h.

La mayoría de los instrumentos electrónicos de medida actuales incorpora un convertidor analógico/digital (CAD) que determina su resolución. Existen varias formas de caracterizarla: bits, dígitos y cuentas. La denominación "1/2 dígito" significa que el dígito más significativo del indicador numérico del instrumento (formado por circuitos convertidores del código BCD al de 7 segmentos) sólo puede ser 0 ó 1 para rangos unipolares, y 2 para rangos bipolares.

- **Sensibilidad**

Representa el cambio producido en la variable de salida o resultado de lectura del instrumento para un determinado cambio en la entrada. Es decir, es la razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que lo ocasiona, después de haberse alcanzado el estado de reposo.





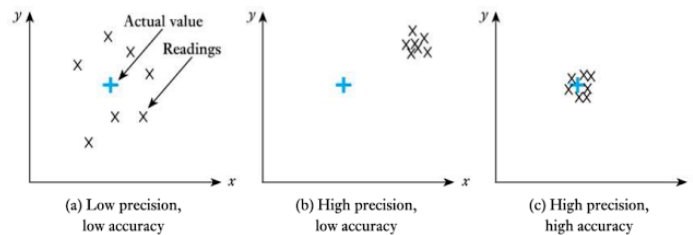
Para instrumentos analógicos, la sensibilidad se define como el cociente entre la deflexión observada en la escala y el valor medido que ocasiona la deflexión. De esto se deduce que la sensibilidad viene dada por la pendiente de la característica de transferencia de un instrumento, representada como la recta de ajuste de mínimos cuadrados

- **Exactitud y Precisión**

En primer lugar, vamos a analizar la diferencia entre los términos precisión y exactitud. En general estas dos palabras son sinónimos, pero en el campo de las mediciones indican dos conceptos completamente diferentes.

Se dice que el valor de un parámetro es muy preciso cuando está muy bien definido.

Por otra parte, se dice que dicho valor es muy exacto cuando se aproxima mucho al verdadero valor.



Neil Storey, *Electronics: A Systems Approach*, 4th Edition © Pearson Education Limited 2009

Diversos factores contribuyen a la variabilidad de un método de medición, entre ellos:

1. El operador que realiza la medición.
2. Los equipos
3. La calibración de los equipos
4. El ambiente ( $T^\circ$ , humedad, etc)
5. El intervalo temporal entre mediciones

- **Repetibilidad**

Es el mismo concepto que la fidelidad, salvo que nos referimos a repetibilidad cuando las medidas se realizan en un corto espacio de tiempo.

- **Reproducibilidad**

Es el grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mesurando, realizadas bajo diferentes condiciones de medida. Las medidas pueden realizarse a largo plazo, por personas distintas, con aparatos distintos o en distintos laboratorios.

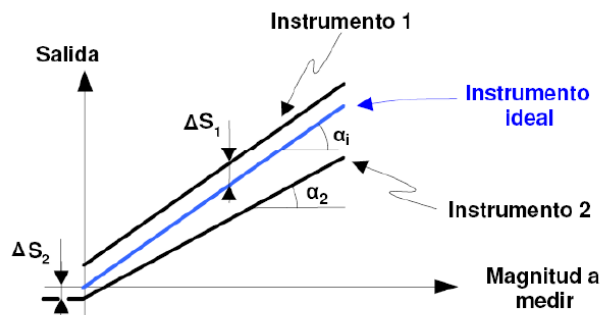
## • Error

Se lo define como la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero. El error tiene en general variadas causas. Las que se pueden de alguna manera prever, calcular, eliminar mediante calibraciones y compensaciones, se denominan determinísticos o Sistemáticos. Los que no se puede prever, pues dependen de causas desconocidas, o estocásticas se denominan aleatorios. En líneas generales es la discrepancia entre el valor correcto y el obtenido es el error. Puede ser definido como :

- Error absoluto, como la resta entre el valor obtenido y el valor verdadero
- Error relativo, como la relación que hay entre el error absoluto y el valor verdadero expresado en tanto por ciento
- Error referido a fondo escala. Es la forma habitual de expresar el error en los instrumentos y consiste en dividir el error absoluto entre el fondo escala del instrumento.

## • Calibración

Operación mediante la cual se ajusta la salida de un determinado instrumento de tal modo que coincida con los valores correspondientes de diversos patrones de la magnitud a medir.



### Calibración a punto:

La salida se ajusta para que sea lo más exacta posible en un punto concreto. Normalmente ese punto es el valor cero de la variable de entrada, porque suele ser uno de los puntos para los que más fácilmente se conoce el valor verdadero. Puede ser manual o automática.

### Calibración del cero y de la Sensibilidad:

Cuando la respuesta es lineal es necesario ajustar dos puntos o un punto y la pendiente (sensibilidad). Si se ajusta un punto y la pendiente, primero se debe ajustar el punto (normalmente el cero), y luego la pendiente. Para este último ajuste es necesario medir en otro punto y ajustar la ganancia de forma que en ese segundo punto sea la deseada.



- d) De ejemplo de las características de 1 sensor real, por ejemplo (temperatura, presión, humedad, aceleración, posición, color, distancia).

## Sensor de ultrasonidos HC-SR04

Dentro del mundo Arduino, el emisor/receptor de ultrasonidos HC-SR04 es quizás uno de los complementos más reconocibles. Este sensor se emplea en todo tipo de proyectos, siendo su principal uso el de reconocer obstáculos, aunque debido su buena resolución, también se emplea para medir la distancia a objetos.

### Descripción

Lo más singular del sensor de ultrasonidos HC-SR04 es quizás su "par de ojos", estos no son más que un emisor y un receptor de ultrasonidos que trabajan a una frecuencia de 40KHz (una frecuencia inaudible para las personas).



Este sensor consta de 4 pines, alimentación (Vcc), un disparador (Trig), el receptor (Echo) y masa (GND). Para el correcto funcionamiento del sensor es necesario el conectar estos 4 pines.

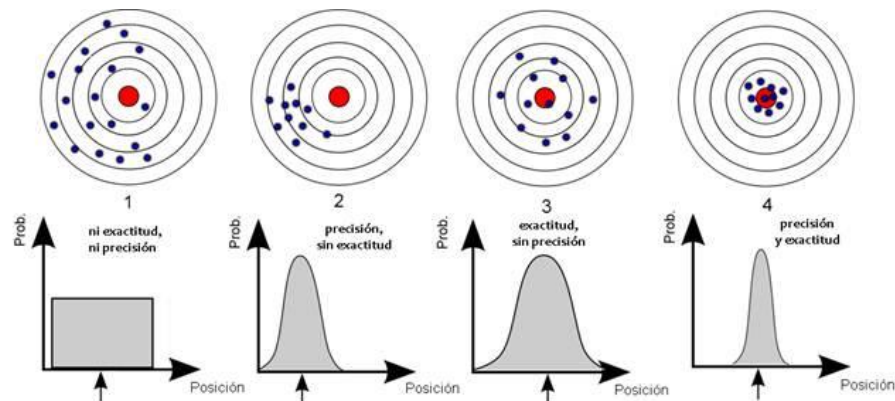
Las características básicas de este sensor y que se deben de tener en cuenta al trabajar con él son:

Características	
Alimentación	+5v DC
Frecuencia de trabajo	40 KHz
Consumo (suspendido)	< 2mA
Consumo (trabajando)	15mA
Ángulo efectivo	< 15°
Distancia	2cm a 400cm *
Resolución	0.3 cm

\*A partir de 250cm la resolución no es buena

### e) Ejemplifique gráficamente la diferencia entre precisión y exactitud.

Una importante distinción entre exactitud y precisión es que la exactitud puede determinarse con una sola medida, mientras que para evaluar la precisión se necesitan varias medidas (repetibilidad), no pudiéndose hablar de precisión para una sola medida.



En la imagen puedes observar cuatro blancos en las que el centro representa el valor «verdadero» o de referencia. En el caso 1 no tenemos ni exactitud ni precisión, los disparos están dispersos y alejados del valor que se busca. En el caso 2 los disparos están mucho más agrupados, lo que indica que hay una gran precisión, pero como el punto medio de todos ellos se encuentra alejado del centro de la diana hay una «falta de exactitud, debido al sesgo (error sistemático) existente entre el valor medio y el valor verdadero (centro de la diana)». En el tercer caso, tenemos buena exactitud, pero escasa precisión. En el último caso, los disparos están muy agrupados en torno al centro de la diana (su distribución de probabilidad es muy estrecha), siendo este el caso ideal de buena precisión y buena exactitud (resultado no sesgado).

En este momento cabe aclarar lo que es el sesgo, si medimos algo varias veces y los valores están cerca unos de otros, pueden estar todos equivocados si hay «sesgo». Por lo que, el sesgo es un error sistemático, que hace que todas las medidas estén desviadas en una cierta cantidad.

### f)Cuál es la relación entre error y exactitud de un instrumento.

En cualquier actividad científica o técnica es inevitable la existencia de errores. Puede tratarse de errores de medición o errores de transcripción, errores de posicionamiento o errores en la variable medida. La actitud más razonable es tratar de estimar la magnitud de los errores cometidos, comunicarlo y tenerlo en cuenta para no pedirle a los resultados una precisión mayor de la que realmente pueden ofrecer. En primer lugar, hay que distinguir entre *precisión* y *exactitud*. Precisión es el detalle con el que un instrumento o procedimiento puede medir una variable mientras que exactitud es lo que se acerca esta medición al valor real. El *error* es la diferencia entre el valor real y el medido, sin embargo, puesto que el valor real nunca se conoce realmente, el error siempre debe estimarse.

Por ejemplo, una regla tiene una precisión de milímetro mientras que un metro de electricista tiene una precisión de centímetro. Sin embargo, será más exacto medir un muro con un metro que con una regla ya que el instrumento es más apropiado.

**g) Que se puede decir de la incertidumbre de los sensores y las mediciones que realizamos. ¿Es real lo que medimos?**

Cuando se realiza una comparación de calibración, se compara el instrumento a calibrar con un aparato patrón para averiguar si el error (diferencia en el valor medido por el instrumento y el valor medido por el patrón) se encuentra dentro de límites dados por el fabricante del instrumento. Como el aparato patrón no permite medir exactamente el valor verdadero (también tiene un error) y como además en la operación de comparación intervienen diversas fuentes de error, no es posible caracterizar la medida por un único valor, lo que da lugar a la llamada incertidumbre de la medida o incertidumbre.

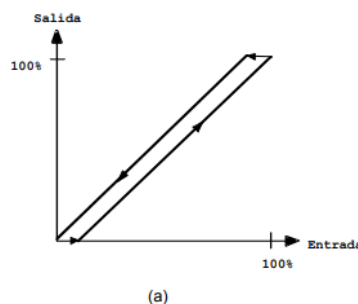
Entre las fuentes de incertidumbre se encuentran.

- Influencia de las condiciones ambientales.
- Lecturas diferentes de instrumentos analógicos realizadas por los operadores.
- Variaciones en las observaciones repetidas de la medida en condiciones aparentemente idénticas.
- Valores inexactos de los instrumentos patrón.
- Muestra del producto no representativos.

Es decir, la incertidumbre es la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al verdadero valor de la magnitud medida. En el cálculo de la incertidumbre intervienen la distribución estadística de los resultados de series de mediciones, las características de los equipos, etc.

**h) ¿Como se interpreta una curva dead band?**

Es el rango de valores dentro del cual puede variar la variable medida (señal de entrada), tal que no se producen variaciones a la salida del instrumento. La banda muerta se mide al momento de ocurrir un cambio de dirección en el sentido de variación de la variable medida. En la Figura (a) puede observarse la respuesta de un instrumento que presenta banda muerta.



(a) Banda muerta.

La banda muerta en instrumentos mecánicos es ocasionada principalmente debido a la fricción existente entre las piezas mecánicas. Se mide en cada ciclo de medición (recorrido ascendente y descendente), durante el proceso de calibración de un instrumento y se toma la peor de ellas.

Para medir la banda muerta se puede ejecutar el siguiente procedimiento:

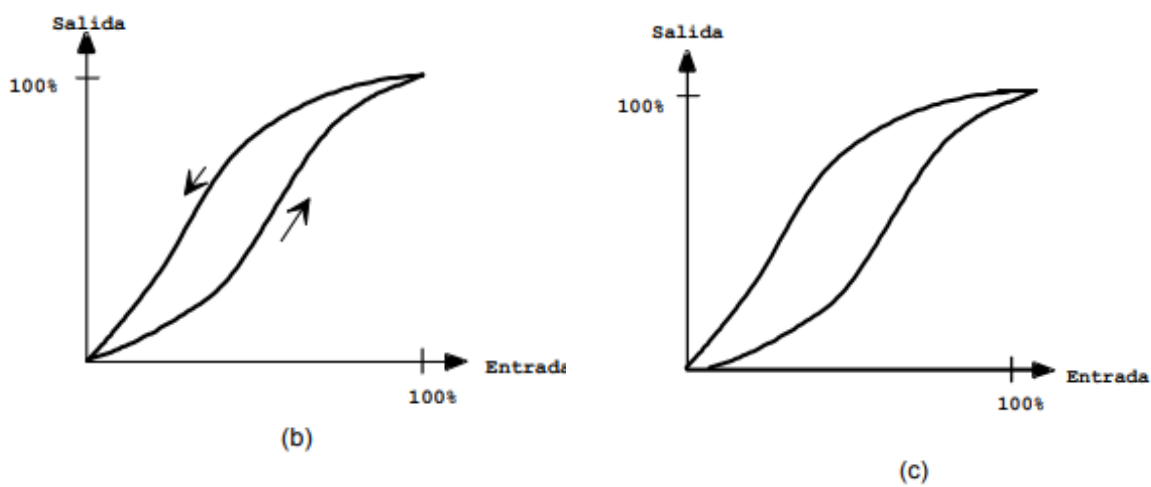
1. Variar lentamente la entrada del instrumento (ya sea incrementándola o disminuyéndola) hasta que se comience a observar un cambio en la salida.
2. Registrar el valor de entrada al cual se comenzó a observar la variación a la salida.
3. Variar lentamente la entrada en la dirección opuesta, hasta que se observe un cambio en la salida. 4. Registrar el valor de la entrada al cual se comenzó a observar variación a la salida.
5. La diferencia entre los valores de entrada obtenidos en el segundo y el cuarto paso es el valor de la banda muerta.

i) **Cuál es la importancia de la sensibilidad y resolución de un sensor.**

La sensibilidad y la resolución del transductor de nivel **determinan la precisión y la estabilidad** del transductor de nivel y juegan un papel vital en el desarrollo del sensor.

j) **Explique diferencia entre histéresis y zona muerta.**

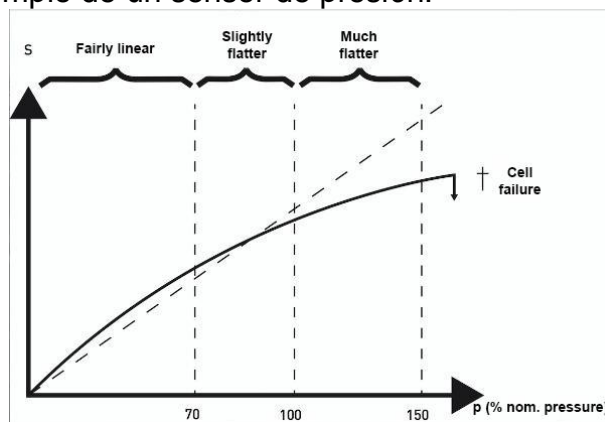
La histéresis es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos, ascendente y descendente y la Zona muerta es el rango de valores del mesurando para el cual el instrumento no varía su indicación o señal de salida. Suele ser indicada como un porcentaje del alcance del instrumento. Es uno de los componentes de la histéresis.



(b) Histéresis. (c) Histéresis y banda muerta.

### k) Porque conviene que un sensor tenga una respuesta lineal

Los sensores se destacan por su sensibilidad, sobre todo los de presión, haciendo que surjan muchas ventajas sobre otros instrumentos de medición. Es por ello que sus usuarios esperan una respuesta lineal, en la que la señal de salida es proporcional a la magnitud medida y aplicada. Por este motivo, la curva que se obtendrá en el diagrama debe ser una línea recta, cuyo punto de partida está indicado por la posición cero y su sensibilidad por la pendiente. Sin embargo, la forma real de la curva de señal, más o menos siempre, muestra una fuerte desviación de la línea ideal. Esta discrepancia se conoce como error de linealidad del sensor. El gradiente de la curva, por otro lado, corresponde a su sensibilidad. En la figura se muestra un ejemplo de un sensor de presión:



## Ejercicio 2

Un sensor de temperatura, que tiene un rango de medida de 20-250 °C, entrega una lectura de 55 °C. Especificar el error en la lectura si la exactitud se expresa de las siguientes formas, indicando el rango de medición en cada caso.

- +/- 0,5% del valor máximo de lectura  

$$S(V.\max) = \pm (250 * 0,5) / 100 = 55^{\circ}\text{C} \pm 1,25^{\circ}\text{C}$$
- +/- 0,75% del alcance (FS)  

$$S(\text{Alc.}) = \pm (230 * 0,75) / 100 = 55^{\circ}\text{C} \pm 1,72^{\circ}\text{C}$$
- +/- 0,8% de la lectura  

$$S(\text{Lec.}) = \pm (55 * 0,8) / 100 = 55^{\circ}\text{C} \pm 0,44^{\circ}\text{C}$$



### Ejercicio 3

Determinar el **alcance**, **exactitud** y **precisión** de cada uno de los modelos de sensores de presión que se muestran en el catálogo.

Model	PSE570	PSE573	PSE574	PSE575	PSE576	PSE577
Fluid	Gas or liquid that will not corrode the materials of parts in contact with fluid					
Applicable fluid						
Pressure	0 to 1 MPa	-100 to 100 kPa	0 to 500 kPa	0 to 2 MPa	0 to 5 MPa	0 to 10 MPa
Rated pressure range						
Accuracy	±1.0% F.S.					
Analog output accuracy (Ambient temperature of 25°C)						
Repeatability (Ambient temperature of 25°C)	±0.2% F.S.					
	±0.5% F.S.					
<b>Alcance:</b>	1 – 0 = 1 [MPa]	100 – (-100) = 200 [kPa]	500 – 0 = 500 [kPa]	2 – 0 = 2 [MPa]	5 – 0 = 5 [MPa]	10 – 0 = 10 [MPa]
<b>Exactitud:</b>	1% de 1 [MPa] $\frac{1 \cdot 1}{100} = 0.01$ ± 0.01 [MPa]	1% de 200 [kPa] $\frac{1 \cdot 200}{100} = 2$ ± 2 [kPa]	1% de 500 [kPa] $\frac{1 \cdot 500}{100} = 5$ ± 5 [kPa]	2.5% de 2 [MPa] $\frac{2.5 \cdot 2}{100} = 0.05$ ± 0.05 [MPa]	2.5% de 5 [MPa] $\frac{2.5 \cdot 5}{100} = 0.125$ ± 0.125 [MPa]	2.5% de 10 [MPa] $\frac{2.5 \cdot 10}{100} = 0.25$ ± 0.25 [MPa]
<b>Precisión:</b>	0.2% de 1 [MPa] $\frac{0.2 \cdot 1}{100} = 0.002$ ± 0.002 [MPa]	0.2% de 200 [kPa] $\frac{0.2 \cdot 200}{100} = 0.4$ ± 0.4 [kPa]	0.2% de 500 [kPa] $\frac{0.2 \cdot 500}{100} = 1$ ± 1 [kPa]	0.5% de 2 [MPa] $\frac{0.5 \cdot 2}{100} = 0.01$ ± 0.01 [MPa]	0.5% de 5 [MPa] $\frac{0.5 \cdot 5}{100} = 0.025$ ± 0.025 [MPa]	0.5% de 10 [MPa] $\frac{0.5 \cdot 10}{100} = 0.05$ ± 0.05 [MPa]

### Ejercicio 4

Durante el diseño de un equipo de control de temperatura se ensayan cuatro sensores A, B, C y D. Cada uno de estos sensores fue probado tomando cinco lecturas mientras se mantenía una temperatura constante de 18 [°C], dando como resultado los datos consignados en la tabla. ¿Cuál sensor ofrece la mayor **exactitud** y cuál ofrece la mayor **precisión**?

Sensor	Lectura 1 [°C]	Lectura 2 [°C]	Lectura 3 [°C]	Lectura 4 [°C]	Lectura 5 [°C]	Promedio	Desviación estándar
A	18.10	18.05	18.00	18.10	18.15	18.08	0.057
B	18.00	18.05	18.00	18.05	18.00	18.02	0.027
C	17.95	17.90	17.85	17.98	17.80	17.90	0.073
D	17.90	17.92	17.91	17.90	17.91	17.91	0.008

- **Exactitud:** Grado de aproximación al **valor verdadero**.
- **Precisión:** Grado de dispersión entre las **lecturas**.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

El sensor **más exacto** es el B.

El sensor **más preciso** es el D.

