

SENSORES Y ACTUADORES

Módulo I: ¿Qué podemos Sensorizar?

Tecnología de Sensores | Actividad Nro 2

Integrantes:

- Durigutti, Vittorio | GitHub: <https://github.com/vittoriiodurigutti>
- Zalazar, Joaquín | GitHub: <https://github.com/breaakerr>
- Marquez, José | Github: <https://github.com/marquezjose>
- Lujan, Luciano | Github: <https://github.com/lucianoilujan>
- Velez, Nahuel | Github: <https://github.com/Lucasmurua19>
- Juncos, Lisandro | Github: <https://github.com/Lisandro-05>
- Garzón, Joaquín | Github: <https://github.com/Joacogarzon>

A continuación se presenta cada consigna con su respectiva resolución, producto de lo extraído de cada uno de los trabajos individuales.

1) Dada las características de un Sensor (rango, alcance, error, exactitud; etc),
Explique: ¿Qué es el régimen estático y transitorio de un sensor?.

Teniendo en consideración que un sensor es un dispositivo que detecta cambios en variables físicas o químicas y las convierte en señales que pueden ser medidas o interpretadas.

El **Régimen Estático** de un sensor se refiere a su comportamiento cuando la variable medida es constante o cambia muy lentamente. Es decir cuando se encuentra en un entorno estable. En este régimen, el sensor ha alcanzado un estado de equilibrio, y su salida es estable y no varía con el tiempo. El análisis en régimen estático se enfoca en la precisión, exactitud, linealidad, y resolución del sensor, ya que estos parámetros determinan la calidad de las mediciones en condiciones estables.

Por otra parte el **Régimen Transitorio** ocurre cuando hay un cambio rápido en la variable medida. Durante este periodo, el sensor no ha alcanzado aún su estado de equilibrio, y su salida cambia con el tiempo hasta estabilizarse. El análisis del régimen transitorio es crucial para entender el tiempo de respuesta del sensor, su capacidad para seguir cambios rápidos y la forma en que maneja los posibles picos o caídas en la señal. Las características como el sobreimpulso, el tiempo de asentamiento, y el comportamiento dinámico del sensor se analizan en este régimen.

Resumiendo, el **Régimen Estático** evalúa la precisión y estabilidad del sensor en condiciones estables, el **Régimen Transitorio** analiza su capacidad para reaccionar a cambios rápidos, lo cual es crítico en aplicaciones dinámicas. Tener ambas en consideración, sumado a las

características propias del sensor, es fundamental para seleccionar el dispositivo más eficiente para el proyecto a desarrollar.

2) De ejemplo de las características de 1 sensor real, por ejemplo (temperatura, presión, humedad, aceleración, posición, color, distancia; etc).(Buscar el datasheet de un sensor real y copiar tabla de características).

Sensor elegido: Sensor de peso HX711

Es un módulo amplificador y convertidor analógico a digital (ADC) diseñado específicamente para aplicaciones de pesaje. Es ampliamente utilizado en proyectos que requieren la medición de pequeñas variaciones en peso, como balanzas electrónicas y sistemas de pesaje de alta precisión.

Características:

1. **Alta Resolución y Precisión:** tiene un convertidor A/D de 24 bits (es decir más de 16 millones de valores digitales.) que permite la medición de señales analógicas provenientes de celdas de carga con una alta precisión. Esta alta resolución es crucial para aplicaciones que requieren detectar cambios muy pequeños en el peso.

2. **Bajo Consumo de Energía:** funciona con un bajo consumo de energía, lo que lo hace ideal para aplicaciones portátiles y dispositivos que funcionan con baterías. (1.5 mA de corriente en operación, y <1 µA en reposo)

3. **Facilidad de Integración:** Este módulo es fácil de integrar con microcontroladores como Arduino, ESP32, y Raspberry Pi, gracias a su interfaz digital sencilla basada en dos pines (Data y Clock).

4. **Amplificación Integrada:** tiene un amplificador de ganancia programable que puede ajustarse a 32, 64 o 128, lo que permite amplificar señales de baja intensidad, como las provenientes de una celda de carga, para hacerlas más manejables por el ADC.

Datasheet del sensor HX711

Parameter	Notes	MIN	TYP	MAX	UNIT
Full scale differential input range	V(inp)-V(inn)	$\pm 0.5(AVDD/GAIN)$			V
Common mode input		AGND+1.2		AVDD-1.3	V
Output data rate	Internal Oscillator, RATE = 0		10		Hz
	Internal Oscillator, RATE = DVDD		80		
	Crystal or external clock, RATE = 0		$f_{clk}/1,105,920$		
	Crystal or external clock, RATE = DVDD		$f_{clk}/138,240$		
Output data coding	2's complement	800000		7FFFFF	HEX
Output settling time ⁽¹⁾	RATE = 0		400		ms
	RATE = DVDD		50		
Input offset drift	Gain = 128		0.2		mV
	Gain = 64		0.4		
Input noise	Gain = 128, RATE = 0		50		nV(rms)

Temperature drift	Input offset (Gain = 128)	±6			nV/°C
	Gain (Gain = 128)	±5			ppm/°C
Input common mode rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Power supply rejection	Gain = 128, RATE = 0	100			dB
Reference bypass (V _{BG})		1.25			V
Crystal or external clock frequency		1	11.0592	20	MHz
Power supply voltage	DVDD	2.6	5.5		V
	AVDD, VSUP	2.6	5.5		
Analog supply current (including regulator)	Normal	1400			μA
	Power down	0.3			
Digital supply current	Normal	100			μA
	Power down	0.2			

3) 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.

- $\pm 0,5\%$ del valor máximo de lectura
- $\pm 0,75\%$ del alcance (FS)
- $\pm 0,8\%$ de la lectura

Datos:

- Rango de medida del sensor: 20 °C a 250 °C
- Valor de la lectura: 55 °C
- Rango completo del sensor (FS): $250 - 20 = 230$ °C

Explicación de los Cálculos:

Para calcular el error en la lectura del sensor de temperatura, es necesario aplicar el porcentaje de exactitud a la referencia correspondiente. Dependiendo de cómo se expresa la exactitud, se utilizan diferentes fórmulas:

1. Porcentaje del valor máximo de lectura: Se calcula el error tomando el porcentaje del valor máximo que el sensor puede leer. Esto significa que el error está basado en el valor máximo del rango del sensor (250 °C en este caso). La fórmula es: $\text{Error} = (\text{Porcentaje de exactitud} / 100) \times \text{Valor máximo de lectura}$.
2. Porcentaje del alcance (FS): El alcance o 'Full Scale' (FS) es el rango completo de medición del sensor, que se obtiene restando el valor mínimo del valor máximo del sensor. En este caso, $\text{FS} = 250 \text{ °C} - 20 \text{ °C} = 230 \text{ °C}$. El error se calcula aplicando el porcentaje de exactitud al FS. La fórmula es: $\text{Error} = (\text{Porcentaje de exactitud} / 100) \times \text{FS}$.
3. Porcentaje de la lectura actual: En este caso, el error depende directamente del valor leído por el sensor (55 °C en este ejemplo). La exactitud se expresa como un porcentaje de la lectura actual. La fórmula es: $\text{Error} = (\text{Porcentaje de exactitud} / 100) \times \text{Valor de la lectura}$.

Cálculo del Error:

a) $\pm 0,5\%$ del valor máximo de lectura

El error se calcula como un porcentaje del valor máximo de lectura del sensor.

$$\text{Error} = \pm 0.5\% \times 250 \text{ °C} = \pm 1.25 \text{ °C}$$

b) $\pm 0,75\%$ del alcance (FS)

El error se calcula como un porcentaje del rango completo del sensor (Full Scale o FS).

$$\text{Error} = \pm 0.75\% \times 230 \text{ °C} = \pm 1.725 \text{ °C}$$

c) $\pm 0,8\%$ de la lectura

El error se calcula como un porcentaje de la lectura actual del sensor.

$$\text{Error} = \pm 0.8\% \times 55 \text{ °C} = \pm 0.44 \text{ °C}$$

Resumen de los Errores:

- a) ± 1.25 °C
- b) ± 1.725 °C
- c) ± 0.44 °C

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 de 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	0.098	0.008
B	18,00	18,05	18,00	18,05	18,00	0.124	0.011
C	17,95	17,90	17,85	17,98	17,80	0.108	0.007
D	17,90	17,92	17,91	17,90	17,91	0.100	0.014

Exactitud: Grado de aproximación al valor verdadero

Precisión: Grado de dispersión entre las lecturas.

El sensor **más exacto** es el: Sensor D

El sensor **más preciso** es el: Sensor C

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

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

- a. ¿Cuál sensor ofrece la mayor exactitud y cuál ofrece la mayor precisión?

Para entender la precisión y la exactitud de los sensores A, B, C y D, primero necesitamos definir ambos términos en el contexto de medición:

- **Precisión:** Se refiere a la consistencia de las mediciones. Un sensor es preciso si sus lecturas son cercanas entre sí, incluso si no están cerca del valor real.
- **Exactitud:** Se refiere a lo cerca que están las mediciones del valor real o verdadero. Un sensor es exacto si las lecturas se aproximan al valor real, aunque no necesariamente sean consistentes entre sí.

Análisis de Ejemplo

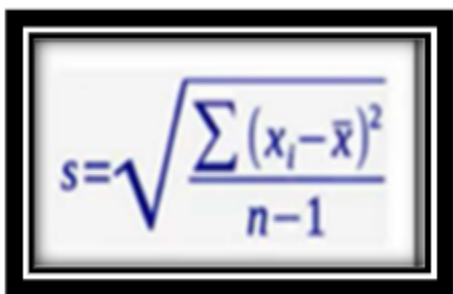
Para determinar cuál de los sensores tiene mayor precisión y cuál mayor exactitud, Necesitamos conocer los datos de las lecturas para cada sensor (A, B, C, y D). Para este ejemplo se toman datos hipotéticos.

Supongamos que tenemos la siguiente tabla de datos de las lecturas de los sensores:

Sensor	Lectura 1 (L/s)	Lectura 2 (L/s)	Lectura 3 (L/s)	Lectura 4 (L/s)	Lectura 5 (L/s)
A	0.09	0.11	0.10	0.09	0.098
B	0.12	0.13	0.11	0.14	0.12
C	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13
D	0.08	0.12	0.09	0.10	0.11

Explicación:

- **Promedio (L/s):** Se calcula sumando todas las lecturas de un sensor y dividiendo entre el número de lecturas (en este caso, 5).
- **Desviación Estándar (L/s):** Mide la dispersión de las lecturas alrededor del promedio, calculada usando la fórmula mencionada a continuación



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

Ahora vamos a completar la tabla con los cálculos de precisión y exactitud de cada sensor:

Sensor	Lectura 1 (L/s)	Lectura 2 (L/s)	Lectura 3 (L/s)	Lectura 4 (L/s)	Lectura 5 (L/s)	Promedio	Desviación estándar
A	0.09	0.11	0.10	0.09	0.098	0.098	0.008
B	0.12	0.13	0.11	0.14	0.12	0.124	0.011
C	0.10	0.10	0.10	0.11	0.13	0.108	0.007
D	0.08	0.12	0.09	0.10	0.11	0.100	0.014

Conclusión:

Sensor más exacto: Sensor D, ya que su promedio de lecturas (0.100 L/s) es exactamente el mismo que el valor real de 0.1 L/s.

Sensor más preciso: Sensor C, ya que tiene la menor desviación estándar (0.007 L/s), lo que indica que sus lecturas son las más consistentes.

5) Determinar el alcance, exactitud y precisión de cada uno de los modelos de sensores 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					
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
Accuracy	±1.0% F.S.	±1.0% F.S.	±1.0% F.S.	±2.5% F.S.	±2.5% F.S.	±2.5% F.S.
Repeatability (Ambient temperature of 25°C)	±0.2% F.S.	±0.2% F.S.	±0.2% F.S.	±0.5% F.S.	±0.5% F.S.	±0.5% F.S.

ALCANCE	0 Pa a 1×10^6 Pa	-1×10^2 Pa a 1×10^5 Pa	0 Pa a 5×10^5 Pa	0 Pa a 2×10^6 Pa	0 Pa a 5×10^6 Pa	0 Pa a 1×10^7 Pa
EXACTITUD	$\pm 1 \times 10^4$ Pa	$\pm 1 \times 10^3$ Pa	$\pm 1 \times 10^3$ Pa	$\pm 1 \times 10^4$ Pa	$\pm 1 \times 10^5$ Pa	$\pm 1 \times 10^5$ Pa
PRECISION	$\pm 2 \times 10^3$ Pa	$\pm 2 \times 10^2$ Pa	$\pm 1 \times 10^3$ Pa	$\pm 1 \times 10^4$ Pa	$\pm 2.5 \times 10^4$ Pa	$\pm 5 \times 10^4$ Pa

Se realizan las expresiones en notación científica para que sea más fácil realizar la comparación entre los diferentes sensores.

Observando de esta forma, podemos distinguir que el sensor con mayor alcance es el modelo PSE577 que toma valores desde los 0 hasta los 10 MPA (10.000.000 Pa). PSE570, PSE573, y PSE574 son los sensores más precisos, con +/-1% sobre la escala total, por lo que en número finos, el más exacto termina siendo el PSE573. Y los más precisos serán también estos últimos, manteniéndose el PSE573 como exacto dentro de la comparación.

6) Ejemplifique gráficamente la diferencia entre precisión y exactitud.

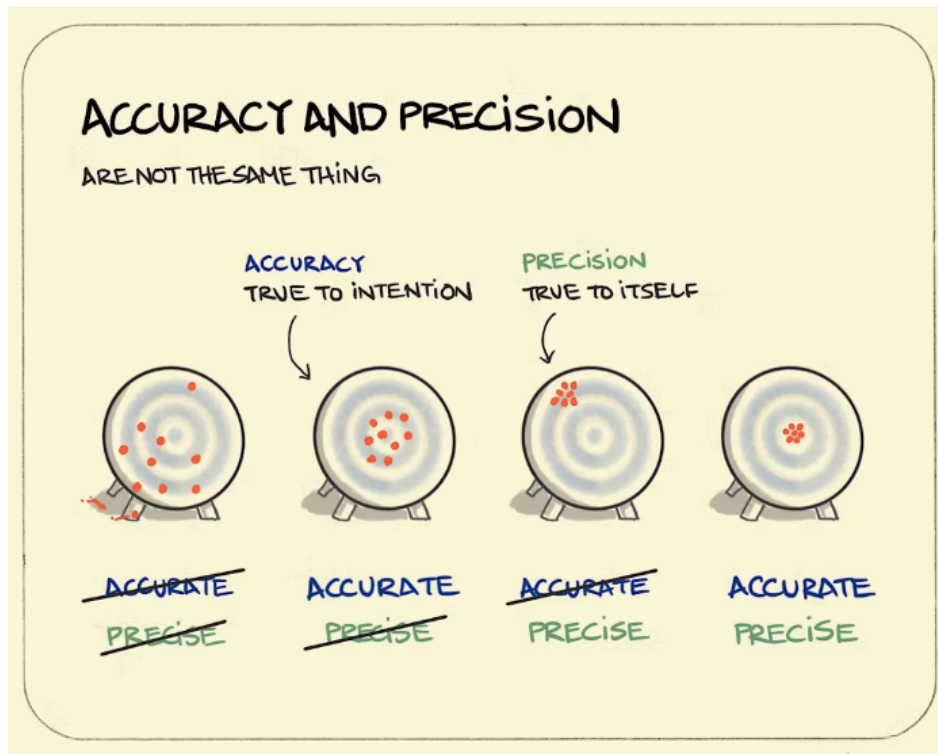
Precisión: Se refiere a la cercanía entre sí de un conjunto de mediciones repetidas de una misma magnitud. Un instrumento o sistema de medición es preciso si, al repetir la medición varias veces, los resultados obtenidos están muy próximos entre sí, independientemente de si se acercan o no al valor real.

Exactitud: Se refiere a la cercanía de una medición al valor verdadero o aceptado de la magnitud que se está midiendo. Un instrumento o sistema de medición es exacto si el valor que proporciona está muy próximo al valor real, independientemente de si las mediciones repetidas son consistentes entre sí.

Para ilustrarlo, pensemos en el ejemplo clásico de los disparos a una diana:

- Alta precisión, baja exactitud: Los disparos están muy agrupados (precisos), pero lejos del centro de la diana (inexactos).
- Baja precisión, alta exactitud: Los disparos están dispersos (imprecisos), pero su promedio está cerca del centro de la diana (exactos).

- Alta precisión, alta exactitud: Los disparos están agrupados y cerca del centro de la diana (precisos y exactos).
- Baja precisión, baja exactitud: Los disparos están dispersos y lejos del centro de la diana (imprecisos e inexactos)



7) ¿Cuál es la importancia de la sensibilidad y resolución de un sensor?

Lo principal para llevar a cabo esta tarea es aclarar las definiciones de sensibilidad y resolución:

Que es la sensibilidad, se refiere a la capacidad de un sensor para detectar pequeñas variaciones en la variable que está midiendo. Un sensor más sensible puede detectar incluso pequeños cambios en las condiciones.

Que es la resolución es la menor variación en el valor que el sensor puede detectar o medir.

Un sensor con alta resolución puede distinguir entre cambios muy pequeños en el entorno.

¿Por qué es importante estas características? Son fundamentales en los sensores porque afectan directamente la calidad y utilidad de las mediciones.

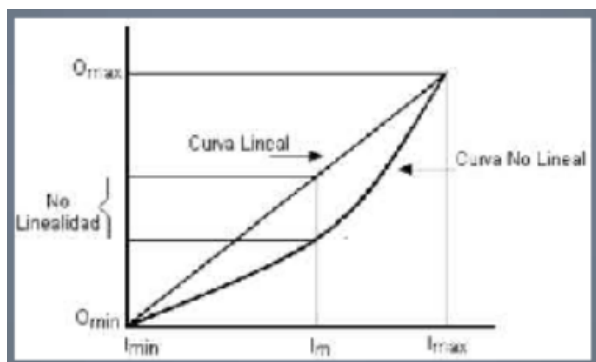
En conclusión, en escenarios que requieren alta sensibilidad y resolución, el HTU21D tiene una clara ventaja sobre el SHT1x. Por lo tanto la sensibilidad como la resolución son esenciales para garantizar que los sensores proporcionan datos útiles y detallados, lo que facilita la toma de decisiones y mejora el control y monitoreo de procesos

Parámetro	HTU21D	SHT1x	Diferencia
Rango de Humedad	0–100% HR	0–100% HR	Rango similar.
Rango de Temperatura	-40°C a +125°C	-40°C a +123.8°C	HTU21D tiene un rango ligeramente mayor.
Precisión Humedad	±2% HR	±3% HR	HTU21D es más preciso.
Precisión Temperatura	±0.3°C	±0.4°C	HTU21D tiene mejor precisión.
Tiempo de Respuesta	5 segundos (humedad)	8 segundos (humedad)	HTU21D responde más rápido.
Consumo Energético	0.055 mA en modo activo	0.55 mA en modo activo	HTU21D consume menos energía.
Interfaz de Comunicación	I2C	Protocolo propietario	HTU21D utiliza un protocolo más estándar.
Tamaño Físico	3 x 3 x 0.9 mm	7.5 x 5 x 2.5 mm	HTU21D es más pequeño y compacto.

8) ¿Porqué es conveniente que un sensor tenga una respuesta lineal?

Utilizar un sensor con respuesta lineal es conveniente por varias razones:

1. **Facilidad de Calibración:** Un sensor con respuesta lineal facilita el proceso de calibración, ya que la relación entre la señal de salida del sensor y la magnitud física que se está midiendo es constante. Esto simplifica la conversión de la señal del sensor a una unidad de medida útil.
2. **Precisión y Exactitud:** Una respuesta lineal asegura que las mediciones sean consistentes a lo largo de todo el rango de operación del sensor, lo que mejora la precisión y exactitud de las mediciones.
3. **Simplicidad en el procesamiento de señales:** Con una respuesta lineal, el procesamiento de las señales del sensor es más sencillo, ya que no se requiere de algoritmos complejos para interpretar la señal. Por ejemplo, si la relación es lineal, puedes simplemente aplicar una fórmula directa (como $y = mx + b$) para obtener el valor deseado.



- **Precisión:** es la máxima desviación entre la salida real y la ideal. Suele indicarse en valor absoluto de la magnitud de entrada o en porcentaje sobre el fondo de escala de la salida.
- **Linealidad:** La falta de linealidad se mide por la máxima desviación entre la respuesta real, y la característica puramente lineal, referida al fondo de escala.

4. **Predicción y Modelado:** Los sensores lineales son más fáciles de modelar matemáticamente.

Menor Riesgo de Errores: En un sensor no lineal, pequeñas variaciones en la entrada pueden causar grandes desviaciones en la salida, lo que podría resultar en errores significativos