

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE YUCATÁN

FACULTAD DE INGENIERÍA



SENSORES Y ACTUADORES

Libreta

Apuntes de la materia

Docente: Renán Quijano Cetina

Semestre: Agosto 2021 - Diciembre 2021

Nombre: Felipe Sánchez Soberanis

Matrícula: 18214854

Correo: a18214854@alumnos.uady.mx

Semestre: 7

Carrera: Ingeniería Mecatrónica

30 de agosto de 2021

Índice

Unidad 1: Fundamentos de mediciones	3
Clasificación y conceptos básicos de los instrumentos	3
Historia de las mediciones y mediciones en la era moderna	3
Sistema de mediciones	3
Instrumentación y clasificación de los instrumentos	3
Estándares de medición	4
Conceptos básicos de los instrumentos	5
Simbología y normatividad	5
Principales criterios para la selección de instrumentos	5
Respuestas de orden cero, primero y segundo	6
Calibración y trazabilidad	6
Procesamiento de señal	6
Error asociado a los instrumentos de medición	6
Incertidumbre en las mediciones y otras fuentes de error	6
Perturbación de un sistema debido a las mediciones y características de las señales	7
Unidad 2: Métodos instrumentales de análisis	8
Adquisición de datos	8
Sensores o transductores	8
Multiplexor y amplificador de instrumentación	8
S & H (Sample & Hold, Muestreo y Retención)	8
Convertidor analógico/digital	9
SAR y ADCs	9
Teorema de Nyquist	10
Acondicionamiento analógico de la señal	10
Calibración de los instrumentos de medición	11
Instrumentación virtual	11
Análisis estadístico de los datos	11
Unidad 3: Aplicaciones de los microcontroladores en sistemas de instrumen- tación	12
Adquisición de datos a través de microcontroladores	12
Procesamiento y análisis de variables físicas para sistemas de adquisición de datos autónomos basados en microcontroladores	12
Control digital aplicado a la instrumentación	12
Protocolos de transmisión de datos utilizando microcontroladores	12
Interfaces para instrumentación virtual basada en microcontroladores	12
Unidad 4: Técnicas modernas para automatización de procesos	13
Dispositivos reconfigurables	13
Niveles de integración de los componentes electrónicos	13
Acondicionadores de señal monolíticos	13

Controladores analógicos integrados	13
---	----

Unidad 1: Fundamentos de mediciones

Clasificación y conceptos básicos de los instrumentos

Historia de las mediciones y mediciones en la era moderna

El comercio se realizaba originalmente a través del trueque. Se necesitaban mediciones para cuantificar las cantidades que se intercambiaban y para establecer el valor relativo de diferentes productos. Los primeros instrumentos de medición incluían partes del cuerpo, por ejemplo, la mano, el pie, el codo ...

Actualmente, se necesitan mediciones para monitorear diferentes procesos y para este propósito se recurre a la instrumentación.

Es común el empleo de sistemas de medición para el registro de variables, en vez de instrumentos de medición individuales.

El sistema de medición puede dividirse en diferentes componentes.

Sistema de mediciones

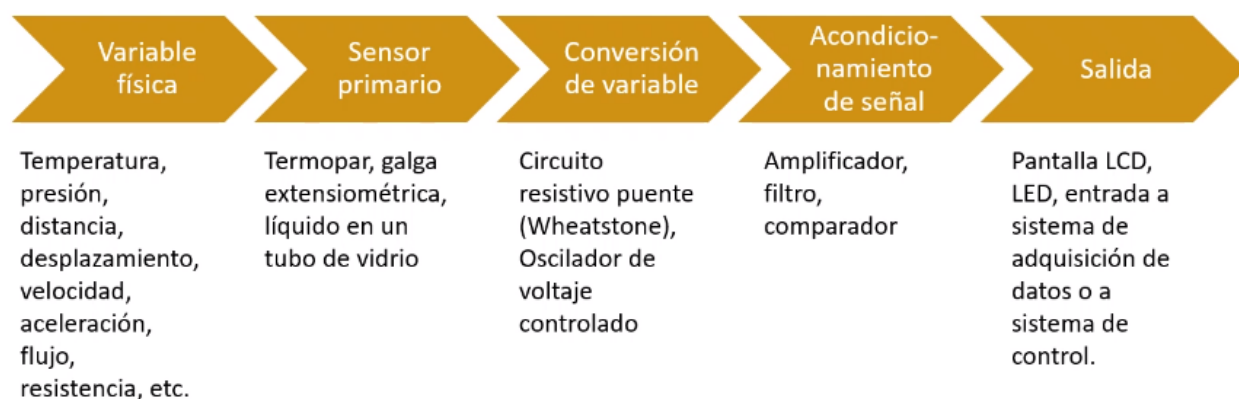


Figura 1: Diagrama de sistemas de mediciones.

Instrumentación y clasificación de los instrumentos

La instrumentación es el arte de medir el valor de algunos parámetros presentes en algún proceso, como presión, flujo, nivel o temperatura, por nombrar algunas, y devolver una señal que es proporcional al parámetro medido. Las señales de salida están estandarizadas y pueden ser procesadas por otro equipos para activar indicadores, alarmas o control automático.

Los instrumentos se pueden dividir en:

- Ciegos: cuando no tienen ninguna indicación visible de la lectura tomada.
- Indicadores: muestran el valor medido.
- Registradores: cuando son capaces de almacenar la información medida, generando un historial de datos.

- **Activos:** la cantidad medida (mesurando) modula la magnitud de alguna fuente de poder externa.
- **Pasivos:** la potencia necesaria para generar la señal de salida del instrumento es producida por completo por acción del mesurando.

Pasivo	Activo
Resolución fija	Capacidad de aumentar la resolución aumentando la capacidad de la fuente de alimentación ✓
No requiere fuente de alimentación externa ✓	Requiere fuente de alimentación ✗
Usualmente son dispositivos simples ✓	Generalmente son dispositivos más complejos ✗
Usualmente económicos ✓	Usualmente caros ✗

Figura 2: Comparación de los instrumentos pasivos y activos.

igual se pueden encontrar:

- **Instrumentos de deflexión:** La variable medida produce en el instrumento un efecto (desplazamiento) y la magnitud del valor medido es desplegado en términos del movimientos producido en el puntero.
- **Instrumentos nulos:** El efecto del mesurando es equilibrado por un efecto opuesto, regresando el sistema a un punto nulo (balanceado). La medición se obtiene de la magnitud opuesta requerida para alcanzar el balance.

De igual manera, se pueden dividir en instrumentos análogos y digitales:

Un instrumento análogo entrega una salida que varía (continuamente) de acuerdo a los cambios del mesurando, por ejemplo, el indicador de presión de Bourdon. En principio, la salida puede tener cualquier valor dentro del rango de medición. Un instrumento digital tiene una salida que varía en pasos discretos, por lo que tiene un número fijo de salidas.

Estándares de medición

- **Masa:** kilogramo (kg). Se define tomando el valor numérico fijo de la constante de Plank.
- **Longitud:** metro (m). Se define tomando el valor numérico fijo de la velocidad de la luz en el vacío.
- **Tiempo:** segundo (s). Se define tomando el valor numérico fijo de la frecuencia del Cesio.
- **Corriente eléctrica:** ampere (A). Se define tomando el valor numérico fijo de la carga elemental.
- **Temperatura:** kelvin (k). Se define tomando el valor numérico fijo de la constante de Boltzmann.

- Cantidad de sustancia: mole (mol). Se define tomando el valor numérico fijo de la constante de Avogadro.
- Intensidad luminosa: candela (cd). Se define con la percepción humana.

Conceptos básicos de los instrumentos

- Rango (span): conjunto de valores en la escala de medición dentro de los límites superior e inferior.
- Exactitud (accuracy): capacidad del instrumento para acercarse y poder medir el valor real.
- Precisión (precision): capacidad del instrumento para obtener el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones.
- Bias (desplazamiento¹): es un desplazamiento constante (offset) que se presenta a lo largo de toda la escala de medición del instrumento.
- Sensibilidad (sensitivity): razón entre el incremento de la lectura y el incremento de la variable que la ocasiona, después de alcanzar el reposo.
- Histéresis (hysteresis): diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento para un mismo valor del campo de medida, cuando la variable recorre toda la escala en forma ascendente y luego en forma descendente.
- Zona muerta (deadzone): es el intervalo de valores de la variable que no hace variar la indicación o la señal del instrumento, es decir, que no se produce respuesta alguna.
- Umbral: nivel mínimo necesario para que el instrumento empiece a indicar una medida, o para que empiece a ser registrado como un cambio.
- Resolución: es la mínima subdivisión de la escala.
- Incertidumbre: denota la inexactitud del instrumento o la tendencia al error que pueda tener.

Simbología y normatividad

Principales criterios para la selección de instrumentos

Algunos factores para la selección de sensores son:

- Características estáticas.
- Características dinámicas.
- Costo.

¹No tiene una traducción literal, se usa desplazamiento como un aproximado.

- Durabilidad.
- Mantenimiento.
- Compatibilidad.

Respuestas de orden cero, primero y segundo

En los instrumentos con respuesta de **orden cero**, la salida cambia instantáneamente ante algún cambio en el mesurando como, por ejemplo, el cambio de resistencia en un potenciómetro utilizado para medir desplazamiento.

Los instrumentos con respuesta de **primer orden** se caracterizan por una constante de tiempo τ . Si el mesurando sufre un cambio abrupto en Δ , τ es el tiempo que toma a Δ en cambiar $\approx 63\%$ entre estados inicial y final. La respuesta tiene forma exponencial negativa.

La respuesta de un instrumento de **segundo orden** es idéntica al comportamiento de un sistema armónico amortiguado simple. La mayoría de los instrumentos son críticamente amortiguados.

Calibración y trazabilidad

Los instrumentos solo pueden ajustarse a las características estáticas y dinámicas si están debidamente **calibrados**. Esto se realiza normalmente de modo jerárquico, calibrando cada instrumento contra otro instrumento similar aún más exacto, cuyo único propósito es calibrar otros instrumentos.

Para la calibración, debe ser posible comprobar una cadena ininterrumpida de comparaciones que termina (o comienza) en algún organismo de estandarización nacional, típicamente algún instituto nacional de metrología como el CENAM. Esta cadena comprobable hacia los estándares internacionales con exactitud conocida se llama **trazabilidad**.

Procesamiento de señal

El procesamiento de las señales proveniente de instrumentos de medición se utiliza para mejorar la calidad de la lectura de la señal a la salida del sistema de mediciones o para extraer información útil.

Error asociado a los instrumentos de medición

Incertidumbre en las mediciones y otras fuentes de error

Normalmente se definen dos tipos de incertidumbre:

- Incertidumbre aleatoria.
- Incertidumbre sistemática.

La **incertidumbre aleatoria** se debe a las fluctuaciones (aleatorias) o ruido inherente a la señal. Se presenta muy seguido cuando un humano observa las lecturas de un medidor

analógico. Usualmente, la incertidumbre aleatoria se minimiza realizando promedios de las lecturas de alguna manera.

La **incertidumbre sistemática** es aquella que no se puede corregir mediante el promedio de mediciones repetidas. Generalmente, el error humano está involucrado en los errores sistemáticos. Algunos de los factores que ocasionan errores sistemáticos son: instrumentos mal calibrados, aguja del medidor doblada, lectura humana de un medidor de aguja desde un ángulo (parallax error).

Otras fuentes de error pueden ser:

- **Conexión de puntas de prueba:** es muy común que la resistencia de las puntas de prueba no se tome en cuenta, así como tampoco la dependencia de esta resistencia con respecto a la temperatura. Debe hacerse todo lo posible para minimizar la longitud de las puntas, ya que pueden funcionar como antenas, enviando o (pero aún) captando señales “perdidas” como la de la red eléctricas de 60Hz.
- **EMFs térmicas (EMF \rightarrow Fuerza electromotriz):** siempre que dos metales diferentes se unen, se genera una fuerza.

Perturbación de un sistema debido a las mediciones y características de las señales

Es imposible realizar mediciones en un sistema sin perturbarlo de alguna manera.

- DC (corriente directa), son señales con valores constantes que no cambian con respecto al tiempo.
- AC (corriente alterna), son señales senoidales o superposición de las mismas.

Unidad 2: Métodos instrumentales de análisis

Adquisición de datos

Es una necesidad habitual en la mayoría de las actividades industriales.

Proceso de acondicionamiento y selección de la señal a adquirir, que puede ser suministrada por un sensor.

La toma de muestras de esta señal, la conversión analógico/digital de dicha señal, realiza a frecuencia adecuada y la transferencia de esta información digital a un sistema que pueda procesarla (computador).

Para llevar a cabo un control eficaz sobre un determina proceso, es necesario capturar una serie de datos para, posteriormente:

- Analizarlos.
- Tratarlos.
- Almacenarlos.
- Llevar a cabo una presentación clara y eficaz de la evolución del proceso.

Generalmente, los datos o variables que se han de captar tienen un carácter analógico, mientras que su tratamiento, almacenamiento y análisis son mucho más eficaces cuando se hace digitalmente.

Sensores o transductores

Son los encargados de convertir la variable física a medir (temperatura, humedad, presión, etc.) en señal eléctrica.

Esta señal eléctrica suele ser de muy bajo nivel, por lo que generalmente se requiere un acondicionamiento previo, consiguiendo así niveles de tensión/corriente adecuados para el resto de los módulos del SAD.

Multiplexor y amplificador de instrumentación

Multiplexor: este módulo o circuito se encarga de seleccionar la señal de entrada que va a ser tratada en cada momento.

Amplificador de instrumentación: la función de este bloque es amplificar la señal de entrada del SAD para que su margen dinámico se aproxime lo máximo posible al margen dinámico del conversor A/D (ADC) consiguiéndose de esta forma la máxima resolución. En SAD con varios canales de entrada, cada canal tendrá un rango de entrada distinto, con lo que será necesario que este amplificador sea de ganancia programable.

S & H (Sample & Hold, Muestreo y Retención)

Este circuito es el encargado de tomar la muestra del canal seleccionado (sample) y mantenerla (hold) durante el tiempo que dura la conversión. Este circuito será necesario siempre que la señal de entrada sufra variaciones apreciables durante el tiempo que dura la conversión.

Convertidor analógico/digital

Se encarga de realizar la conversión analógico/digital propiamente dicha, proporcionando un código digital de salida que presenta el valor de la muestra adquirida en cada momento. Es uno de los módulos fundamentales en cualquier sistema de adquisición de datos (SAD ó DAQ) y sus características pueden condicionar al resto de los módulos/circuitos del sistema.

Tiene las siguientes generalidades:

- Topología.
- Resolución.
- Velocidad.

SAR y ADCs

SAR: resumen

- Topología muy popular.
- Atractiva para mediciones puntuales o multiplexadas.
- Velocidad desde DC hasta 4Msps.
- Resolución de 8-18 bits.
- Ventajas:
 - No presenta latencia.
 - Buena relación entre velocidad, resolución y consumo de energía.

ADCs: resumen

- Muy alta resolución.
- Muy estables.
- Incorporan filtro digital.
- La respuesta en frecuencia y la latencia dependen del filtro digital.
- Integran varios componentes:
 - Filtro digital, Buffer, PGA, Vref, Calibración/Diagnóstico.
- Requiere configuración de registros internos.

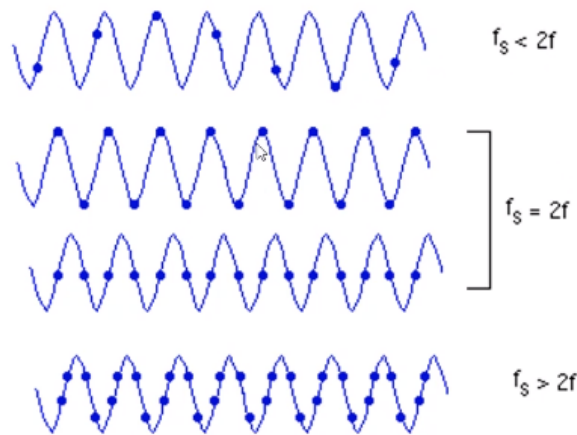


Figura 3: Efecto aliasing.

Teorema de Nyquist

El teorema demuestra que la reconstrucción exacta de una señal periódica continua en banda base a partir de sus muestras, es matemáticamente posible si la señal está limitada en banda y la tasa de muestreo es superior al doble de su ancho de banda. En caso de que esto no se tome en cuenta, se puede generar el efecto aliasing (ver figura 3).

Algunas de la consideraciones para la exactitud de la conversión:

- **Multiplexor:** baja resistencia de conducción (RON) y constante en el margen de variación de las señales de entrada. Tiempos de (falta completar estos puntos).
- **S/H:** pequeña tensión offset y deriva. Máxima velocidad de caída en modo Hold, siempre y cuando la tensión a la salida del S/H está constante el tiempo necesario para que el ADC la digitalice. Tiempos de apertura, de adquisición y de asentamiento mínimos.
- **ADC:** alta resolución. Mínimo tiempo de conversión. Error de linealidad y de ganancia pequeños.

Algunas consideraciones para la velocidad de muestreo:

- Tiempo de establecimiento del MUX.
- Tiempo de establecimiento del amplificador.
- Tiempo de adquisición del S/H.
- Tiempo de conversión del ADC.

Acondicionamiento analógico de la señal

Hay que tomar en cuenta:

- Tipos de señal.
- Ruido.
- Acondicionamiento analógico.
- Aislamientos y lazos a tierra.
- Calibración del instrumentos.

Las tipos de señal son:

- Señal simple.
- Señal diferencial.

Calibración de los instrumentos de medición

Instrumentación virtual

Análisis estadístico de los datos

Unidad 3: Aplicaciones de los microcontroladores en sistemas de instrumentación

Adquisición de datos a través de microcontroladores

Procesamiento y análisis de variables físicas para sistemas de adquisición de datos autónomos basados en microcontroladores

Control digital aplicado a la instrumentación

Protocolos de transmisión de datos utilizando microcontroladores

Interfaces para instrumentación virtual basada en microcontroladores

Unidad 4: Técnicas modernas para automatización de procesos

Dispositivos reconfigurables

Niveles de integración de los componentes electrónicos

Acondicionadores de señal monolíticos

Controladores analógicos integrados