



INSTITUTO SUPERIOR
UNIVERSITARIO

supe

**GUÍA GENERAL DE ESTUDIO
DE INSTRUMENTACIÓN**



Guía general de estudio de Instrumentación

Verónica del Rocío Cuásquer Gualoto

Víctor Hugo Durán Pardo

Robinson Lema Parco

Edgar Javier Cajas Oña

Verónica Johanna Andrade García

Mayra Alejandra Sarzosa Villarroel

2025

Esta publicación ha sido sometida a revisión por pares académicos específicos por:

Nelson Gonzalo Sotomayor Orozco

Escuela Politécnica Nacional

Corrección de estilo:

- Fabricio Manuel Tipantocta Pillajo

Diseño y diagramación:

- Freddy Javier Centeno Martínez

Primera Edición

Editorial RIMANA

Quito – Ecuador

Instituto Superior Universitario Sucre

ISBN: 978-9942-686-86-2

Esta publicación está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 Internacional.



MISIÓN

Ser una Institución Superior Universitaria con estándares de calidad académica e innovación, reconocida a nivel nacional con proyección internacional.

VISIÓN

Formamos profesionales competentes con espíritu emprendedor, capaces de contribuir al desarrollo integral del país.

Los contenidos de este trabajo están sujetos a una licencia internacional Creative Commons Reconocimiento-No Comercial-Compartir Igual 4.0 (CC BY-NC-SA 4.0). Usted es libre de Compartir — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar — remezclar, transformar y construir a partir del material citando la fuente, bajo los siguientes términos: Reconocimiento- debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. No Comercial-no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. Compartir igual-Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original. No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia. <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



**Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual
4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)**

Usted acepta y acuerda estar obligado por los términos y condiciones de esta Licencia, por lo que, si existe el incumplimiento de algunas de estas condiciones, no se autoriza el uso de ningún contenido.

Índice

Presentación de la asignatura	6
Resultados del aprendizaje.....	6
UNIDAD 1 SENSORES Y TRANSDUCTORES.....	7
Percepción objetiva y subjetiva de magnitudes físicas.	7
Fases en la medida (Captación de señal y acondicionamientos)	9
Clasificación de Transductores.....	15
Ejercicios resueltos.....	17
Preguntas propuestas.....	18
UNIDAD 2 TIPO DE SENSORES.....	20
Sensores de presión.....	21
Sensores de flujo primario	22
Sensores de temperatura	22
Sensores de nivel	23
Sensores de pH	23
Ejercicios resueltos.....	24
Ejercicios propuestos	31
UNIDAD 3 ACTUADORES DE CONTROL.....	34
Tipos de Actuadores	34
Tipos de válvulas.....	36
Criterios para la selección de un actuador	38
Proceso de selección	42
Ejercicios propuestos	43
UNIDAD 4 NORMAS ISA	47
Introducción a las Normas ISA (International Society of Automation, 2020)	47
Aplicación de las Normas ISA	48
Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID).....	55
Simbología y Diagramación	57
Ejercicios resueltos.....	58
Ejercicios propuestos	59
Referencias Bibliográficas.....	62

Presentación de la asignatura

La asignatura de Instrumentación Industrial se enfoca en el estudio de los principios, tipos, aplicaciones y funcionamiento de los instrumentos utilizados para medir y controlar variables en los procesos industriales. Es necesario identificar y comprender variables como temperatura, presión, nivel y caudal, así como los sensores, transmisores, indicadores y controladores que permiten su monitoreo y regulación. La instrumentación es una parte esencial en la automatización y operación eficiente de plantas industriales, por lo que su dominio es clave para los estudiantes de carreras técnicas e ingenierías afines. A través de esta asignatura, los estudiantes desarrollarán conocimientos teóricos y habilidades prácticas para seleccionar, instalar, calibrar y mantener instrumentos industriales, aplicando normas de seguridad y calidad. De esta manera, estarán preparados para enfrentar situaciones reales del entorno laboral, aportando soluciones eficientes en procesos industriales automatizados y contribuyendo a la productividad y seguridad de las operaciones.

Resultados del aprendizaje

A través de la siguiente guía de estudio, el estudiante:

1. Identifica las principales variables físicas que se miden y controlan en la industria.
2. Identifica los sensores y transductores utilizados en electrónica.
3. Calibra los sensores y transductores.
4. Reconoce elementos y símbolos básicos para diagramas de instrumentación.
5. Opera eficientemente los elementos de instrumentación.

UNIDAD 1 SENSORES Y TRANSDUCTORES

Percepción objetiva y subjetiva de magnitudes físicas.

Definición de Sensor y Transductor

- **Sensor:** Es un dispositivo que detecta cambios físicos en el entorno (como temperatura, presión, humedad, luz, etc.) y los convierte en señales eléctricas, ya sean analógicas o digitales.
- **Transductor:** Es un dispositivo más general que convierte una señal de un tipo de energía a otro tipo de energía, a menudo eléctrica, para su posterior tratamiento. Estas señales pueden ser interpretadas por sistemas electrónicos para su visualización, análisis o control automático. (Frank, 2017)

En la Tabla 1 se presenta una comparación entre sensores y transductores que permite diferenciar sus características principales.

Tabla 1

Tabla comparativa entre sensores y transductores

Magnitud Física	Sensor (detecta y mide)	Transductor (convierte energía)
Temperatura	Termistor, Termopar, Sensor RTD	Termopar (calor → voltaje) RTD (resistencia → señal)
Presión	Sensor piezorresistivo, barómetro	Transductor piezoeléctrico (presión → voltaje)
Luz	Fotodiodo, Fototransistor, LDR	Célula fotovoltaica (luz → electricidad)
Posición	Encoder óptico, Sensor de proximidad	Potenciómetro (posición → voltaje)
Sonido	Micrófono	Micrófono (sonido → señal eléctrica)
Fuerza	Celda de carga, sensor piezoeléctrico	Celda de carga (fuerza → señal eléctrica)
Humedad	Higrómetro electrónico	Sensor capacitivo (humedad → variación de capacitancia)
Nivel de líquido	Sensor ultrasónico, sensor de flotador	Transductor de presión hidrostática (nivel → presión → señal)

Magnitudes físicas de sensores y transductores

Las magnitudes físicas que se pueden medir mediante sensores y transductores incluyen (Rao, 2023):

- **Mecánicas:** posición, velocidad, aceleración, presión, fuerza.
- **Térmicas:** temperatura, flujo de calor.

- **Ópticas:** intensidad luminosa.
- **Acústicas:** sonido, vibraciones.
- **Eléctricas y magnéticas:** voltaje, corriente, campo magnético.
- **Importancia técnica:** cada magnitud requiere un sensor específico que sea sensible a esa forma de energía, con el fin de realizar una conversión precisa y eficaz.

Ejemplo: Para el control de nivel en un tanque de agua se utiliza un sensor ultrasónico para medir la altura del líquido (nivel) en un tanque. Esta magnitud física es captada por el sensor y transformada en una señal eléctrica de 4–20 mA que representa la altura del agua.

- La magnitud física medida es la distancia (longitud).
- Esta señal es usada por un PLC para controlar una válvula de entrada, automatizando el llenado.

Características estáticas de los sistemas de medida

Estas características determinan el comportamiento del sistema de medición cuando las variables no cambian con el tiempo. (GaugeHow, s. f.)

- **Precisión:** grado de cercanía entre el valor medido y el valor real.
- **Exactitud:** combinación de precisión y veracidad (mínimo error sistemático).
- **Resolución:** mínima variación de la entrada que produce una variación detectable en la salida.
- **Linealidad:** grado de correspondencia entre la entrada y la salida a lo largo del rango operativo.
- **Sensibilidad:** razón entre el cambio de la señal de salida respecto a la entrada.
- **Repetibilidad:** capacidad de reproducir la misma salida bajo condiciones idénticas.

Ejemplo: En una balanza electrónica de laboratorio se mide la masa de sustancias químicas. Se evalúan características estáticas como:

- **Precisión:** permite medir hasta 0.001 g.
- **Resolución:** puede detectar diferencias de masa tan pequeñas como 0.0001 g.
- **Linealidad:** la salida eléctrica del sensor de carga (celda de carga) es proporcional al peso aplicado en todo el rango.

Estos aspectos son críticos para asegurar que las mediciones repetidas sean exactas y confiables.

Características dinámicas de los sistemas de medida

Se refieren a cómo responde un sistema de medición ante cambios en el tiempo en la variable medida.

- **Tiempo de respuesta:** tiempo que tarda el sistema en alcanzar un valor estable después de un cambio en la entrada.
- **Tiempo de subida:** tiempo que tarda en pasar del 10% al 90% del valor final.
- **Retraso (delay):** tiempo entre la entrada y el inicio de la respuesta.
- **Sobreimpulso:** exceso máximo temporal sobre el valor final.
- **Frecuencia de corte:** frecuencia a partir de la cual el sistema atenúa la señal.

Ejemplo: Sensor de presión en un sistema hidráulico

En una prensa hidráulica de alta velocidad, se emplea un sensor de presión piezorresistivo:

- Cuando se aplica presión rápidamente, el sensor debe responder casi en tiempo real.
- Se evalúa el tiempo de respuesta (por ejemplo, 5 ms), y el sobreimpulso, para saber si el sistema tiene oscilaciones que podrían dañar componentes.
- El sistema requiere sensores con buena respuesta dinámica para evitar errores de lectura en procesos rápidos.

Fases en la medida (Captación de señal y acondicionamientos)

Puente de Wheatstone

Es un circuito eléctrico utilizado para medir con alta precisión una resistencia desconocida, comparándola con resistencias conocidas. Funciona equilibrando dos ramas del circuito en forma de puente. Cuando el puente está en equilibrio se puede calcular la resistencia desconocida mediante una relación proporcional entre las otras tres resistencias. (Harris, 2020)

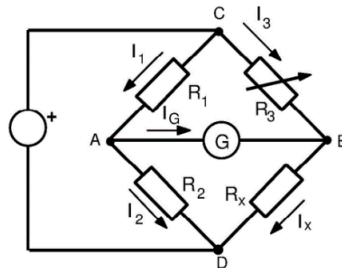
Principio de funcionamiento:

- Consta de cuatro resistencias conectadas en forma de rombo.
- Cuando el puente está balanceado, la diferencia de potencial entre los nodos centrales es cero.
- Una pequeña variación en una de las resistencias (por efecto de una magnitud física) genera un voltaje de salida diferencial, que es proporcional a dicha variación.

En la Figura 1, se observa su esquema de conexión donde la resistencia desconocida R_x depende de los valores de R_1 , R_2 y $R_3 \rightarrow R_x = \frac{R_3 \cdot R_2}{R_1}$

Figura 1

Esquema de conexión de un puente de Wheatstone



Aplicación técnica: en celdas de carga para medir peso o fuerza, donde la deformación mecánica altera la resistencia de galgas, permitiendo la conversión mecánica-eléctrica precisa.

Divisores de voltaje y corriente

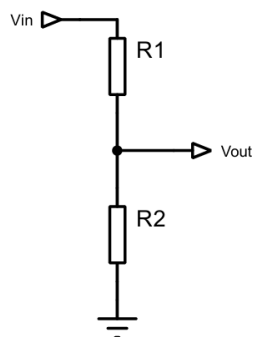
Son circuitos pasivos fundamentales en el acondicionamiento de señales.

Divisor de voltaje:

- Utiliza dos o más resistencias en serie R_1 y R_2 para obtener una fracción del voltaje de entrada V_{in} , tal como se aprecia en la Figura 2.
- Ideal para adaptar niveles de señal entre sensores y sistemas de adquisición de datos.
- El voltaje de salida V_{out} se calcula mediante: $V_{out} = V_{in} \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Figura 2

Esquema de conexión de un divisor de voltaje



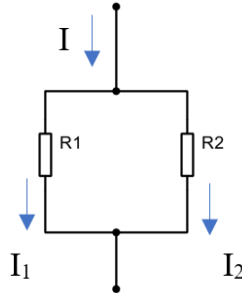
Divisor de corriente:

- En la Figura 3, se usan resistencias en paralelo para distribuir la corriente.

- Menos común en sensores, pero útil en análisis de redes y calibración.
- La corriente I_1 se calcula mediante: $I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

Figura 3

Esquema de conexión de un divisor de corriente



Amplificadores operacionales

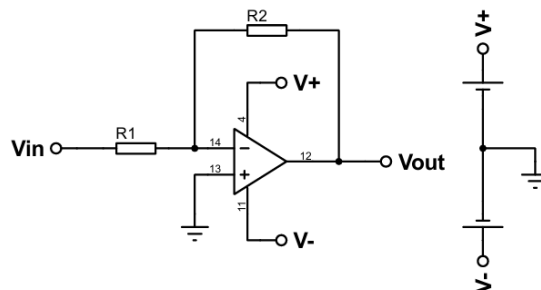
Los amplificadores operacionales son dispositivos activos fundamentales para procesar señales analógicas provenientes de sensores. Su diseño permite implementar diversas configuraciones según la aplicación requerida. (Franco, 2015)

Amplificador Inversor:

Según Sedra & Smith (2014), la entrada V_{in} se aplica a la terminal inversora (-) de la Figura 4, generando una salida desfasada 180° llamada V_{out} . La ganancia A_v depende de las resistencias R_2 (de realimentación) y R_1 (entrada) según la fórmula: $A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = -\frac{R_2}{R_1}$.

Figura 4

Amplificador inversor



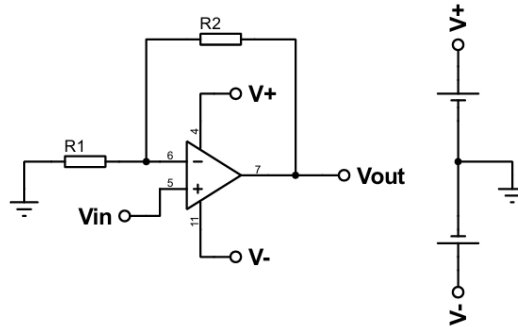
Aplicación técnica: En instrumentación, acondiciona señales de sensores (como termopares) invirtiendo su polaridad para su procesamiento. También se emplea en convertidores digital-analógicos para generar voltajes de referencia negativos.

Amplificador no Inversor:

En la Figura 5, la señal V_{in} ingresa por la terminal no inversora (+), manteniendo la fase de salida V_{out} .

Figura 5

Amplificador no inversor



Su ganancia de voltaje depende de los valores de resistencias R_2 y R_1 (Boylestad & Nashelsky, 2013):

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}} = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Aplicación técnica: Se utiliza en equipos médicos como electrocardiógrafos para amplificar señales biológicas sin invertir su polaridad, manteniendo la integridad de la señal.

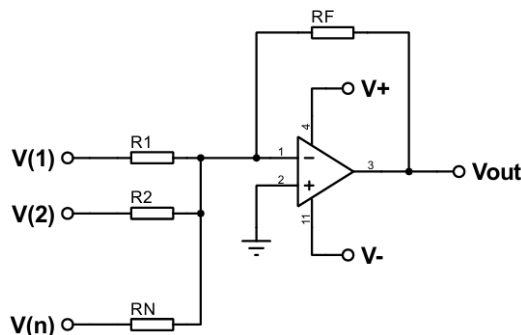
Amplificador sumador inversor

Horowitz & Hill (2015) establecen que este tipo de configuración combina múltiples señales en la entrada inversora $V(1)$, $V(2)$, ..., $V(n)$ ponderadas por las resistencias R_1 , R_2 , ..., R_n según la fórmula

$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right),$$
 representado en la Figura 6.

Figura 6

Amplificador sumador inversor



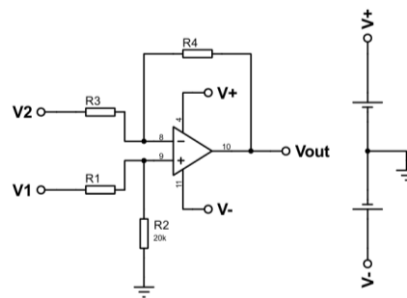
Aplicación técnica: El amplificador sumador resulta particularmente útil para combinar múltiples señales eléctricas en una sola salida. Este principio encuentra aplicación incluso en sistemas musicales, donde permite mezclar frecuencias provenientes de distintos instrumentos.

Amplificador restador o diferencial

Según Olmo & Nave (s. f.), en esta configuración se pueden conectar dos entradas de voltaje V_1 y V_2 , de manera que el voltaje de salida depende de las ganancias A_1 y A_2 , según la ecuación: $V_{out} = A_1 V_1 - A_2 V_2$. Las ganancias dependen de los valores de resistencias R_1 , R_2 , R_3 y R_4 conectadas según el esquema de la Figura 7, donde: $A_1 = \frac{R_2}{R_1}$ y $A_2 = \frac{R_4}{R_3}$.

Figura 7

Amplificador restador



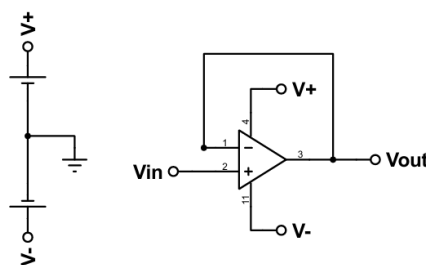
Aplicación técnica: Para mejorar la precisión en instrumentación y control industrial, se emplea este amplificador para eliminar ruidos producidos por bucles de tierra. Mide la señal proveniente del sensor, la compara con la de retorno, obtiene la diferencia entre ellas y entrega una salida referenciada al sistema de medición, con lo que se eliminan offsets de voltaje y ruido. (Mosaic Industries, s. f.)

Seguidor de Voltaje (Buffer)

El seguidor de voltaje, o buffer, de la Figura 8 proporciona aislamiento de impedancia sin amplificar la señal, por lo cual su ganancia A_v es igual a 1. Es ideal para acoplar etapas en donde se cumple que $V_{out} = V_{in}$. (Malvino, 2016)

Figura 8

Amplificador en configuración como seguidor de voltaje



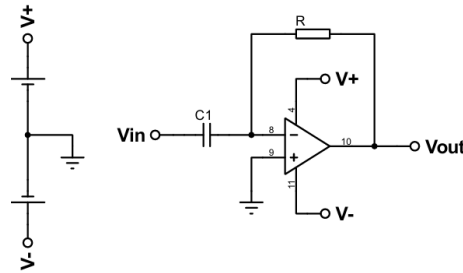
Aplicación técnica: Se utiliza comúnmente en sistemas de adquisición de datos para aislar sensores de alta impedancia (como termopares o células de carga) de las etapas posteriores de procesamiento.

Derivador

Los amplificadores derivadores tienen como propósito calcular la derivada de la señal de entrada respecto al tiempo. Para lograr esto, se emplea una configuración basada en un circuito RC (resistencia-capacitor) que se observa en la Figura 9.

Figura 9

Amplificador derivador



Este diseño es útil en aplicaciones donde se requiere procesar la tasa de cambio de una señal, como en sistemas de control y filtrado de señales.

$$V_{out} = -RC \left(\frac{dV_{in}(t)}{dt} \right)$$

Aplicación técnica: Se usan en control industrial para medir cambios rápidos, como detectar aceleraciones bruscas en motores mediante sensores de posición, generando una señal proporcional a la velocidad de variación para activar protecciones automáticas. (Boylestad & Nashelsky, 2013)

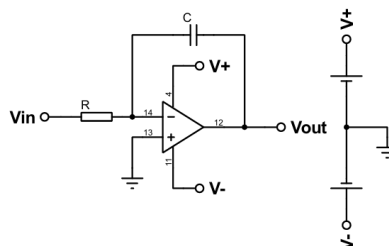
Integrador

El amplificador integrador, como su nombre indica, realiza la integración matemática de la señal de entrada, calculando el área bajo su curva en función del tiempo, de acuerdo a la expresión:

$V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in}(t) dt$. Esta operación se logra mediante una configuración basada en un circuito RC (resistencia-capacitor) mostrada en la Figura 10.

Figura 10

Amplificador integrador



Aplicación técnica: El amplificador integrador convierte señales de velocidad (voltaje) en posición, calculando el desplazamiento acumulado en motores y sistemas CNC para posicionamiento preciso.

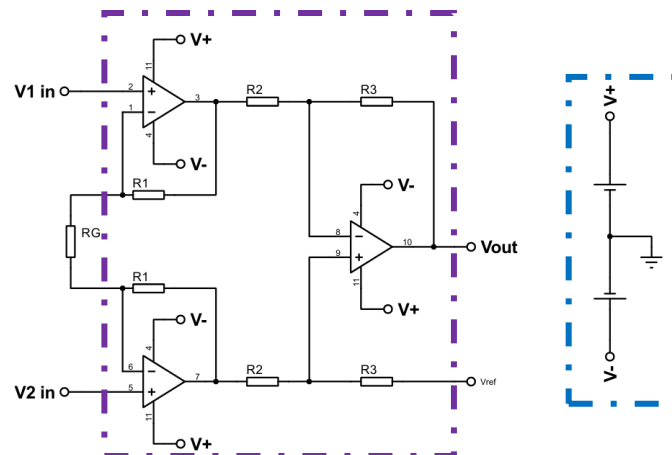
Amplificadores de instrumentación

Son amplificadores de precisión diseñados específicamente para aplicaciones de medición. Su principal ventaja es rechazar el ruido común (modo común) y amplificar únicamente la diferencia de voltaje entre dos señales V_{1in} y V_{2in} , como se observa en la Figura 11. Sus características principales son:

- Alta relación de rechazo en modo común.
- Alta precisión y estabilidad térmica.
- Ganancia ajustable con una sola resistencia.
- Alta impedancia de entrada.

Figura 11

Configuración típica del amplificador de instrumentación



Aplicación técnica: Lectura de señales de sensores en ambientes industriales con interferencias electromagnéticas, pueden ser galgas extenso métricas, sensores biomédicos o transductores de presión.

Clasificación de Transductores

Transductores Electrónicos

Los transductores electrónicos convierten una magnitud física en una señal eléctrica que puede ser procesada por dispositivos electrónicos. Estos transductores son ampliamente usados debido a su precisión, fiabilidad y compatibilidad con sistemas de automatización y control. (URANY, 2022)

Ejemplo:

- **Termopares:** convierten temperatura en voltaje mediante el efecto Seebeck.
- **Fotodiodos y fototransistores:** transforman luz en corriente eléctrica.
- **Sensores piezoeléctricos:** generan una carga eléctrica proporcional a la presión o vibración aplicada.

Aplicación técnica: Su aplicación es común en sistemas de monitoreo industrial, dispositivos médicos, robótica y telecomunicaciones, ya que ofrecen buena respuesta dinámica y permiten integración con circuitos electrónicos de procesamiento.

Transductores Eléctricos

Los transductores eléctricos emplean principios de variación de propiedades eléctricas como resistencia, capacitancia o inductancia, en respuesta a cambios en variables físicas. No siempre generan señal eléctrica directamente, sino que modifican una ya existente. (Brizuela, 2010). Por ejemplo:

- **Transductores resistivos:** como los RTDs (Resistencia Dependiente de Temperatura), cuya resistencia varía proporcionalmente a la temperatura y se detecta mediante un circuito de medición.
- **Capacitivos:** alteran su capacitancia debido a desplazamiento de placas, presión o nivel.
- **Inductivos:** como el LVDT (Transformador Diferencial Variable Lineal), que mide desplazamientos a través de cambios en la inductancia.

Estos transductores requieren un circuito de acondicionamiento y suelen ser parte de sistemas analógicos de medición.

Transductores Electromecánicos

Este tipo de transductores transforma energía mecánica (movimiento, presión, fuerza) en señales eléctricas y viceversa. Operan combinando componentes eléctricos y mecánicos, permitiendo realizar tareas de conversión más robusta o de mayor escala, tales como:

- **Micrófonos dinámicos:** convierten ondas sonoras en señales eléctricas mediante la vibración de una membrana que induce corriente en una bobina.
- **Tacogeneradores:** generan voltaje proporcional a la velocidad de rotación.

- **Servomotores con realimentación:** convierten señales eléctricas en movimiento preciso, y a su vez generan retroalimentación para control cerrado.

Transductores Neumáticos e Hidráulicos

A diferencia de los anteriores, estos transductores trabajan con fluidos compresibles (neumáticos) o incompresibles (hidráulicos) como medio de transmisión de energía. Aunque no generan directamente señales eléctricas, pueden actuar como intermediarios en procesos de control industrial. (Al-Mahasneh, s. f.). Principalmente se dividen en dos grupos:

- **Neumáticos:** suelen usarse donde se requiere seguridad intrínseca (ambientes explosivos).
Ejemplo: transmisores de presión con señal estándar 3–15 psi.
- **Hidráulicos:** ofrecen gran fuerza de salida y se emplean en aplicaciones pesadas, como en maquinaria industrial o válvulas de control hidráulico.

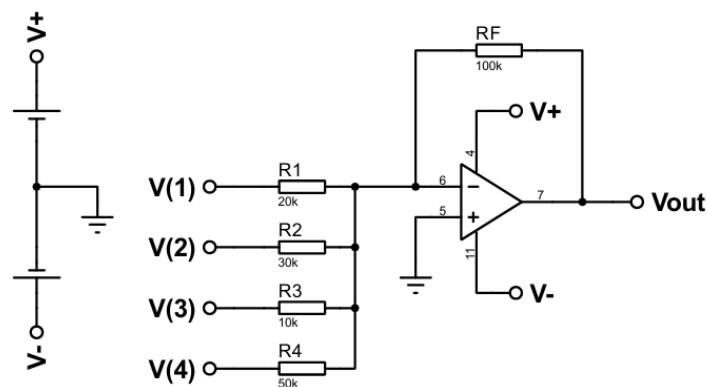
Ambos tipos pueden conectarse con transductores eléctricos (como transmisores electroneumáticos) para integrarse en sistemas automatizados.

Ejercicios resueltos

1. Cuatro señales de audio activan el amplificador sumador de la Figura 12. Se conoce que $V(1)=250\text{mV}$, $V(2)=150\text{mV}$, $V(3)=350\text{mV}$, $V(4)=100\text{mV}$. ¿Cuál será el valor del voltaje medido a la salida V_{out} ?

Figura 12

Ejercicio 1: Amplificador sumador



$$V_{out} = -R_f \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_4}{R_4} \right)$$

$$V_{out} = -100k\Omega \left(\frac{250mV}{20k\Omega} + \frac{150mV}{30k\Omega} + \frac{350mV}{10k\Omega} + \frac{100mV}{50k\Omega} \right)$$

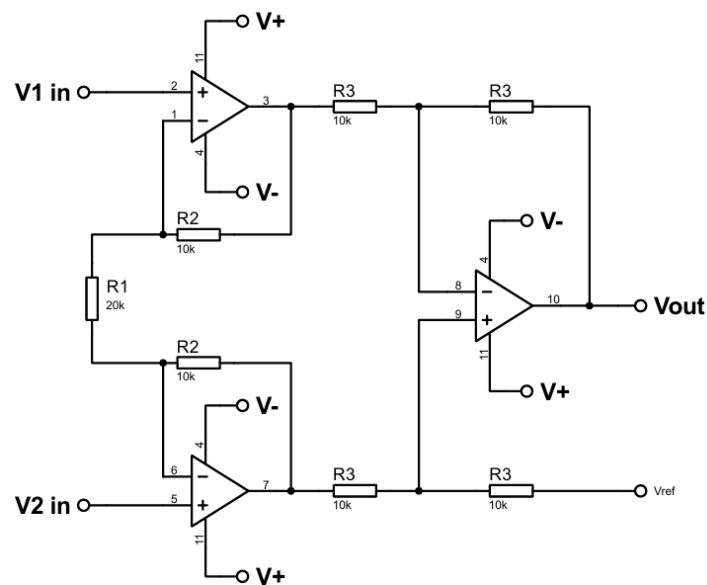
$$V_{out} = -100k\Omega \left(\frac{250mV}{20k\Omega} + \frac{150mV}{30k\Omega} + \frac{350mV}{10k\Omega} + \frac{100mV}{50k\Omega} \right); \quad V_{out} = -5.45 V$$

2. En el amplificador de Instrumentación de la Figura 13, determinar el valor de la tensión de salida en función de las tensiones de entrada.

Datos: AO Ideales, $\pm V_{cc} = \pm 12V$, $R_1 = 20k\Omega$, $R_2 = R_3 = 10k\Omega$

Figura 13

Ejercicio 2: Amplificador de instrumentación



$$V_0 = \frac{R_2}{R_1} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R}{R_0} \right) \cdot (V_2 - V_1) \Rightarrow V_0 = \frac{R_3}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot R_2}{R_1} \right) \cdot (V_2 - V_1)$$

$$R_1 = 20k\Omega, R_2 = R_3 = 10k\Omega$$

$$V_0 = \frac{10k}{10k} \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot 10k}{20k} \right) \cdot (V_2 - V_1) = 2 \cdot (V_2 - V_1)$$

Preguntas propuestas

1. Analice las diferencias fundamentales entre sensores y transductores, y discuta cómo estas diferencias impactan en la selección de dispositivos para aplicaciones específicas en ingeniería.
2. Explique los principios físicos que permiten la conversión en un termopar y discuta sus ventajas y limitaciones en comparación con otros sensores de temperatura.

3. Investigue las implicaciones del tiempo de subida en la respuesta dinámica de un sistema de adquisición de señales, y cómo puede afectar el control de procesos industriales.
4. Explore la función y aplicación de los amplificadores operacionales y amplificadores integradores en el procesamiento de señales provenientes de sensores, incluyendo ejemplos prácticos en sistemas de ingeniería.
5. Examine los retos y consideraciones en la medición de magnitudes físicas mecánicas (como fuerza, presión y posición) mediante sensores piezorresistivos y piezoeléctricos, y proponga posibles soluciones para mejorar la precisión y fiabilidad.

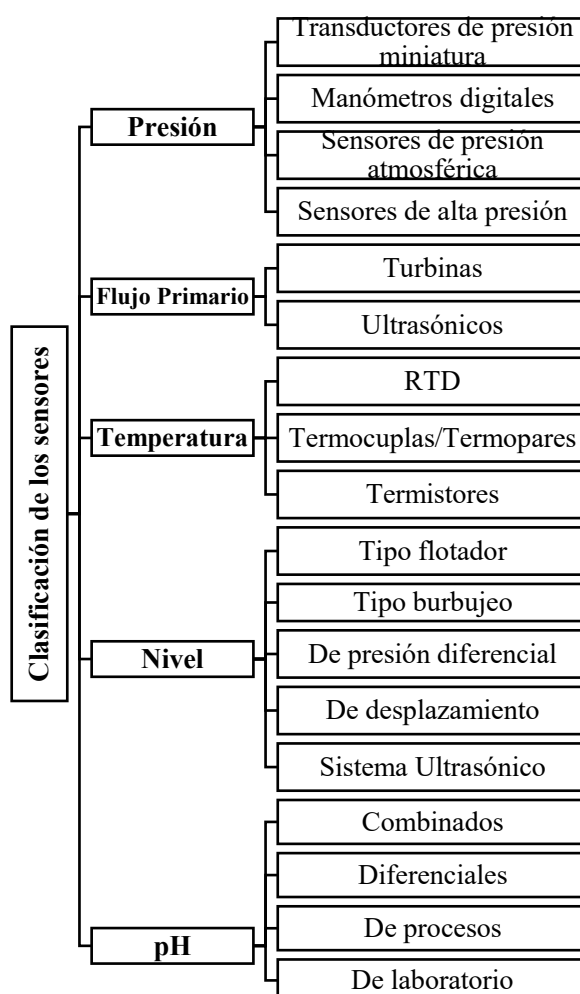
UNIDAD 2 TIPO DE SENSORES

Un sensor es un dispositivo que detecta cambios físicos o químicos y los convierte en señales eléctricas o digitales procesables por un sistema de control, mientras que en sistemas de automatización y procesos industriales los sensores son importantes para medir variables físicas o químicas. (Creus Solé, 2011)

En la Figura 14 se pueden visualizar los diferentes tipos de sensores en función de las variables más frecuentes en aplicaciones industriales.

Figura 14

Tipos de sensores



En la Tabla 2 se muestran los sensores empleados en la industria, siendo los más frecuentes los de presión, flujo primario, temperatura, nivel y pH. Cada uno de estos sensores tiene una función específica, determinada por su principio de funcionamiento, unidad de medida y aplicaciones particulares que exige cada sistema industrial. (Gutiérrez & Iturralde, 2017)

Tabla 2

Clasificación de los sensores

Sensores	Variable que mide	Principio de funcionamiento	Unidades de medida	Tipos Comunes	Aplicaciones
Presión	Presión de gases o líquidos	Deformación de un elemento (galgas extensométricas, piezorresistivo).	[Pa] [bar] [psi]	- Manométrico - Diferencial - Absoluto	- Hidráulica - Neumática - Control de bombas - Tanques
Flujo primario	Caudal de fluido	Diferencia de presión, efecto magnético o térmico.	[L/min] [m³/h] [GPM]	- Electromagnético - Ultrasónico - Turbina - Coriolis	- Plantas de procesos: medición de agua o gas.
Temperatura	Temperatura	Cambio en resistencia eléctrica, voltaje o radiación.	[°C] [°F] [Kelvin]	- Termopar - RTD (PT100) - Termistores - Infrarrojos	- Hornos - Refrigeración - Climatización - Procesos térmicos
Nivel	Altura de un líquido o sólido	Presión hidrostática, ultrasonido, radar, flotación.	[m] [cm] [%] [mm]	- Ultrasónico - Radar - Capacitivo - Boya	- Tanques - Silos - Embalses - Estaciones de bombeo.
pH	Acidez o alcalinidad	Potencial eléctrico entre electrodos en solución	Escala de pH (0-14)	- Combinados - Diferenciales - De laboratorio - De procesos	- Tratamiento de aguas - Alimentos - Química - Farmacéutica

Sensores de presión

Son instrumentos que registran la fuerza ejercida por un gas o líquido sobre una determinada superficie y son utilizados en aplicaciones hidráulicas, neumáticas e industriales donde es necesario supervisar y regular la presión.

Transductores de presión miniatura

Son de fibra óptica y tipo piezorresistivos, con membranas de acero inoxidable. Son resistentes a líquidos y gases corrosivos. (Creus Solé, 2011)

Manómetros digitales

Son instrumentos que miden la presión de un fluido. Funcionan convirtiendo la presión en una señal eléctrica, la cual es procesada y transformada en lectura digital. (Creus Solé, 2011)

Sensor de presión atmosférica

Es un dispositivo que mide la presión atmosférica ejercida sobre una superficie específica, la misma que varía según la altura y el clima.

Sensores de flujo primario

Según Gutiérrez & Iturralde (2017), son dispositivos diseñados para medir la cantidad de fluido que circula a través de una tubería o conducto.

Turbina

Utilizan piezas rotantes que son impulsadas por el fluido y giran a una velocidad proporcional al caudal del fluido circulante. Es importante considerar que no son aptos para medir productos viscosos ni con arrastre de sólidos.

Ultrasónicos

Son sensores basados en la propagación de ondas de sonido en un fluido.

Sensores de temperatura

Son dispositivos que detectan variaciones de temperatura, las convierte en señales eléctricas y las transmiten a otro equipo para su interpretación.

RTD (Detectores de temperatura resistivos)

Son sensores que miden la temperatura en función de la variación de la resistencia eléctrica de un material conductor frente a cambios de temperatura.

Termocuplas

Estos tipos de sensores de temperatura funcionan a partir del efecto termoeléctrico, generando una tensión eléctrica cuando existe una diferencia de temperatura entre dos metales distintos unidos en un punto.

Termistores

Son sensores de temperatura que funcionan en base a la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura.

Sensores de nivel

Sensores que permiten detectar la altura o cantidad de un material, ya sea líquido o sólido, dentro de un contenedor, tanque o depósito.

Tipo flotador

Dispositivo mecánico que detecta el nivel de un líquido mediante un flotador que activa una señal eléctrica según la altura del fluido.

Tipo burbujeo

Dispositivo que determina el nivel de un líquido, midiendo la presión necesaria para hacer burbujear aire a través de un tubo sumergido. Dicha presión es proporcional a la altura del fluido.

Por presión diferencial

Es un dispositivo de medición que detecta la diferencia de presión entre dos puntos de un sistema, como un tanque o conducto, y se utiliza en aplicaciones de control de nivel de líquidos o gases.

Sensores de pH

Son dispositivos utilizados para medir la acidez o alcalinidad de una solución. (Mayné, 2003)

Combinados

Internamente constituidos por dos electrodos. Uno de ellos determina la señal de referencia y el otro electrodo se encarga de la medición como tal, detectando variaciones en los niveles de pH. (Renkeer, 2025)

Diferenciales

Además de los electrodos de referencia y medición, cuentan con un tercer electrodo (metálico) para determinar el sistema de referencia a tierra. Por este motivo tienen alto nivel de durabilidad y confiabilidad. (Renkeer, 2025)

De laboratorio

Generalmente se fabrican con carcasa de plástico y un eje de vidrio de 12 mm, lo que los hace apropiados para aplicaciones sencillas, como son el control ambiental o el análisis de agua en piscinas. (Renkeer, 2025)

De procesos

Sus materiales de fabricación son más robustos y cuentan con conectores de proceso incorporados, lo que permite su uso continuo en condiciones industriales exigentes. (Renkeer, 2025)

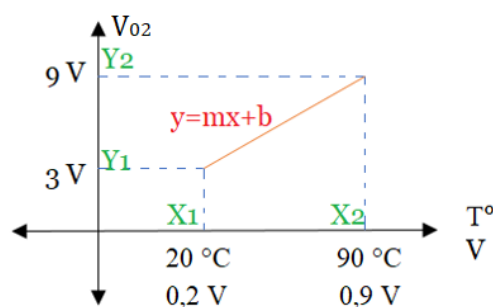
Ejercicios resueltos

Acondicionamiento del sensor de temperatura LM35

Para realizar el acondicionamiento se utiliza un sensor de temperatura LM35 y se consideran los siguientes parámetros: rango de temperatura a medir desde 20 °C a 90 °C y la salida V_{02} debe variar de 3V a 9V, ver Figura 15.

Figura 15

Pendiente de una recta a partir de dos puntos



Para transformar el valor de la temperatura [°C] a voltios [V] se debe utilizar el dato de la tensión de salida del sensor LM35: $\frac{10mV}{1^{\circ}C}$.

$$20^{\circ}\text{C} * \frac{10\text{mV}}{1^{\circ}\text{C}} = 0,2\text{V}$$

$$90^{\circ}\text{C} * \frac{10\text{mV}}{1^{\circ}\text{C}} = 0,9\text{V}$$

La pendiente entre dos puntos se calcula con la siguiente fórmula: $m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$, donde $(X_2 - X_1)$ y $(Y_2 - Y_1)$ son las coordenadas X, Y de dos puntos diferentes.

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$m = \frac{9 - 3}{0,9 - 0,2} = 8,57 \rightarrow \text{Ganancia}$$

Para encontrar el valor de “b” se debe utilizar la fórmula de la recta a partir de la pendiente y un punto de intersección:

$$y = mx + b$$

$$b = y - mx = y_2 - mx_2$$

$$b = 9 - (8,57)(0,9) = 1,287 \rightarrow \text{Fuente de alimentación adicional}$$

$$G = \frac{R_2}{R_1}; \text{Asumir } R_1 = 1\text{k}\Omega$$

$$R_2 = G * R_1$$

$$R_2 = 8,57 * 1\text{k}\Omega = 8,57\text{k}\Omega$$

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} * V_{in}$$

$$V_{o1} = -\frac{8,57\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} * 0,2\text{V} = -1,714\text{V}$$

$$V_{o2} = -\left[\frac{R_5}{R_3} * V_{in} + \frac{R_5}{R_4} * V_{in}\right]$$

$$V_{o2} = -\left[\frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} * (-1,287) + \frac{10\text{k}\Omega}{10\text{k}\Omega} * (-1,714\text{V})\right]$$

$$V_{o2} = -[-1,287 - 1,714\text{V}] = 3,001\text{V}$$

$$V_{o2} = 3,001\text{V}$$

$$V_{o1} = -\frac{R_2}{R_1} * V_{in}$$

$$V_{o1} = -\frac{8,57\text{k}\Omega}{1\text{k}\Omega} * 0,9\text{V} = -7,713\text{V}$$

$$V_{o2} = - \left[\frac{R_5}{R_3} * V_{in} + \frac{R_5}{R_4} * V_{in} \right]$$

$$V_{o2} = - \left[\frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (-1,287) + \frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (-7,713V) \right]$$

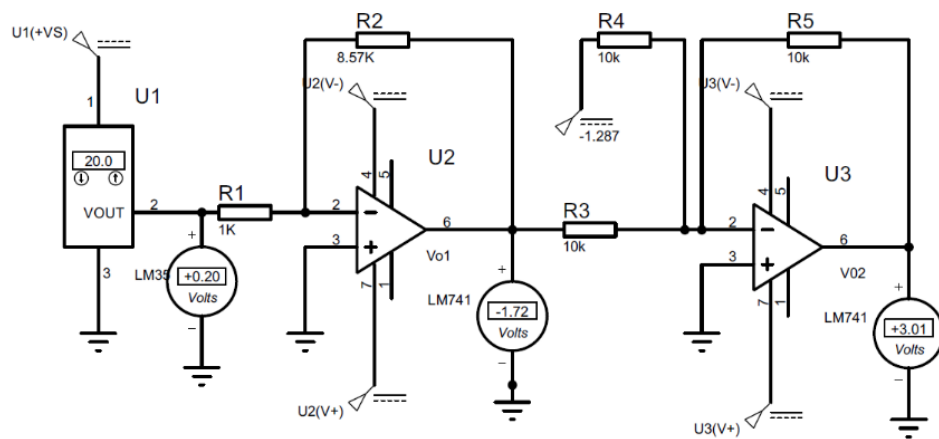
$$V_{o2} = -[-1,287 - 7,713V]$$

$$V_{o2} = 9V$$

En la Figura 16 se observa la simulación del circuito, considerando que, cuando el sensor está a una temperatura de 20 °C, la salida V_{o2} presenta un voltaje de 3,01 V.

Figura 16

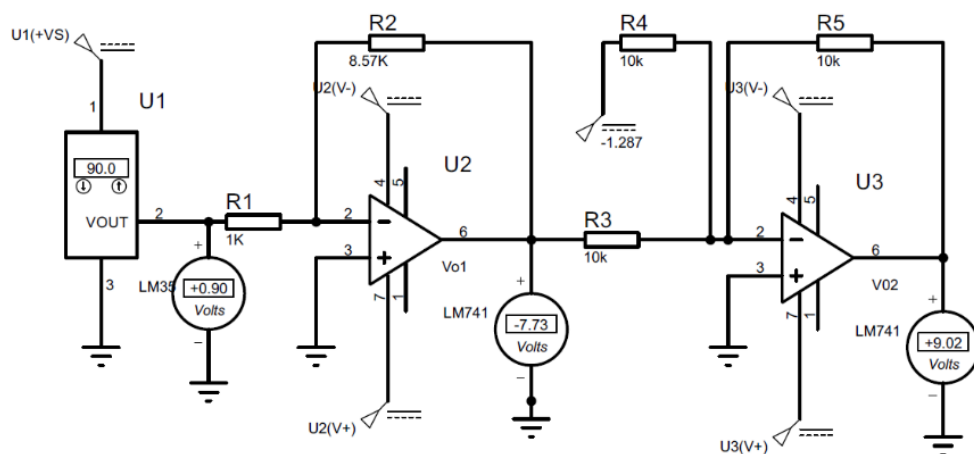
Simulación del circuito a 20°C



En la Figura 17 se visualiza la simulación del circuito donde $V_{o2} = 9.02V$ cuando la temperatura medida está en 90°C.

Figura 17

Simulación del circuito a 90 °C



Acondicionamiento del sensor de temperatura termocupla

Para el acondicionamiento de la señal de la termocupla tipo J se utiliza un amplificador de instrumentación AD620.

Ejercicio: Se requiere medir un rango de temperatura de 100°C a 250°C, para lo cual se va a acondicionar la señal de salida de manera que sus valores estén comprendidos entre 0V y 5V.

- Calcular la ganancia del amplificador de instrumentación AD620.
- Según la tabla estandarizada para voltajes de salida en función de la temperatura medida por la termocupla tipo J, se consideran los siguientes valores:

Para 100°C → 5.268mV

Para 250°C → 13.553mV

$$G = \frac{V_o}{V_i}$$

$$G = \frac{5V}{13.553mV} = 368,922 \cong 369$$

- Calcular la resistencia para ajustar el valor de la ganancia del amplificador de instrumentación

AD620:

$$RG = \frac{49.4k\Omega}{G-1}$$

$$RG = \frac{49.4k\Omega}{G-1} = \frac{49.4k\Omega}{369-1} = 134,24\Omega$$

- Realizar el cálculo del valor del voltaje de salida para los LEDs que son controlados por el circuito integrado LM3914, el cual permite tener una representación visual usando LEDs a partir de la comparación con una señal analógica de referencia.

$$V = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$5 = 1.25 \left(1 + \frac{R2}{R1} \right)$$

$$3 = \frac{R2}{R1}$$

- Para obtener la relación $\frac{R2}{R1}$, se asume la resistencia $R_1 = 1K\Omega$, por lo tanto, $R_2 = 3K\Omega$.

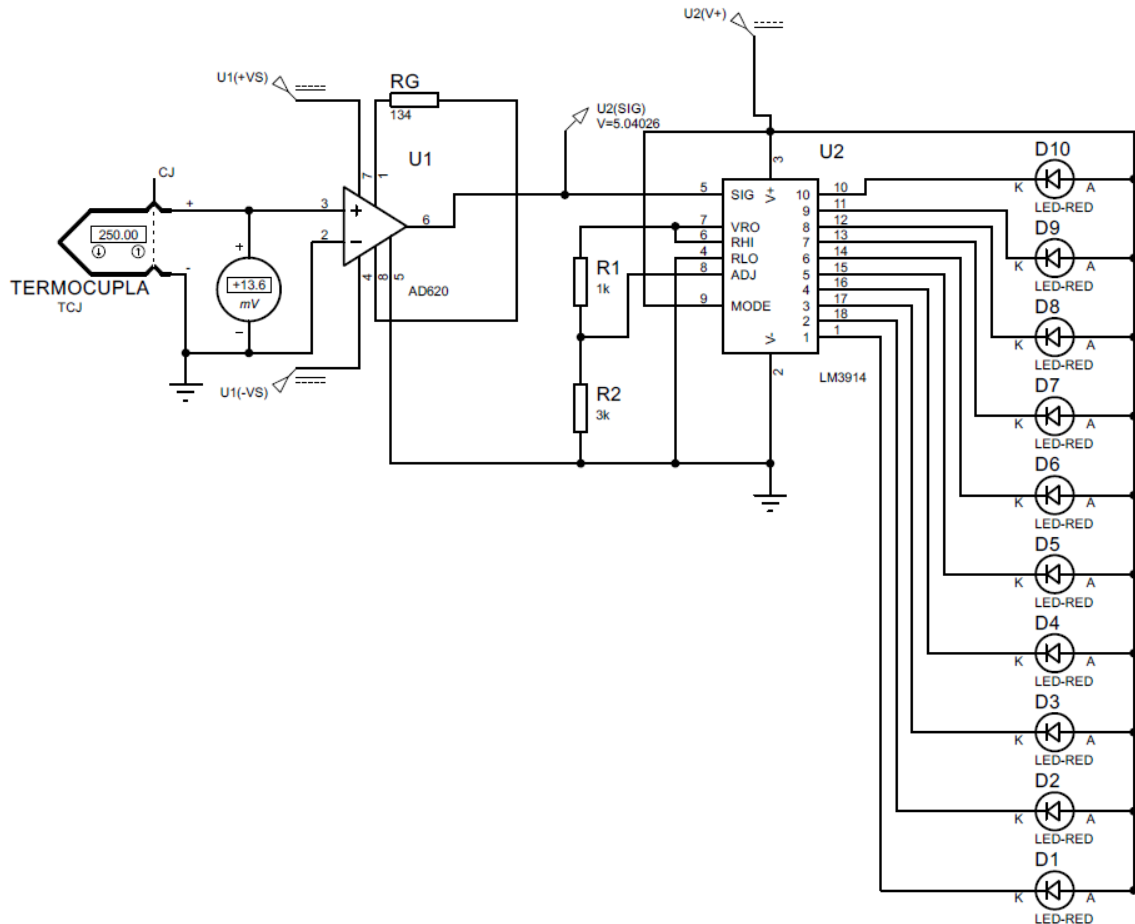
Considerar que por cada 0,5V de incremento de temperatura, se enciende un LED adicional.

En la Figura 18 se puede verificar que el voltaje a la salida de la termocupla tipo J es de 13,6 mV a una temperatura 100 °C, mientras que a la salida del amplificador de instrumentación AD620 se tiene un

rango voltaje de 0V a 5V. Este voltaje ingresa al circuito integrado LM3914 con el fin de ser comparado con 10 niveles internos y proceder a activar la salida digital que encenderá el LED correspondiente.

Figura 18

Simulación termocupla J, AD620 y LM3914



Acondicionamiento del sensor de temperatura Pt100

Este sensor de temperatura, fabricado con platino, tiene un valor de resistencia de 100 Ω a 0 $^{\circ}\text{C}$. Debido a las propiedades del material, su resistencia varía en función de la temperatura. Para acondicionar este tipo de sensor se utiliza el circuito de puente de Wheatstone y amplificadores operacionales.

Ejercicio: Realizar el acondicionamiento del sensor Pt100 con los siguientes datos: $V_{in} = 12\text{V}$, $R_0 = 100\Omega$, rango de voltaje: 1V a 5V, rango de medición de temperatura: 68 a 104 $^{\circ}\text{F}$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} * (^{\circ}\text{F} - 32)$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} * (68 - 32) = 20$$

$$^{\circ}\text{C} = \frac{5}{9} * (104 - 32) = 40$$

Según la tabla estandarizada para los valores de resistencia del sensor de temperatura Pt100 en función a la temperatura, se consideran los siguientes valores:

$$RT1 = Pt100(20^{\circ}\text{C}) = 107,79\Omega$$

$$RT2 = Pt100(40^{\circ}\text{C}) = 115,54\Omega$$

$$V_A = \frac{R_3}{R_3 + R_1} * V_{in}$$

$$V_A = \frac{100}{100 + 100} * 12V = 6V$$

$$V_B = \frac{RT_1}{RT_1 + R_2} * V_{in}$$

$$\text{Para } 20^{\circ}\text{C} \rightarrow V_B = \frac{107,79}{107,79 + 100} * 12V = 6,225V$$

$$\text{Para } 40^{\circ}\text{C} \rightarrow V_B = \frac{115,54}{115,54 + 100} * 12V = 6,433V$$

$$VT = V_B - V_A$$

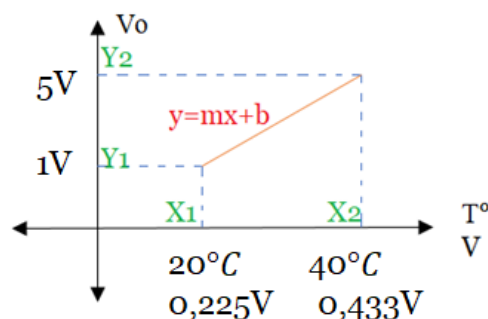
$$\text{Para } 20^{\circ}\text{C} \rightarrow VT = 6,225V - 6V = 0,225V$$

$$\text{Para } 40^{\circ}\text{C} \rightarrow VT = 6,433V - 6V = 0,433V$$

En la Figura 19 se observa la gráfica de la pendiente de la recta a partir de dos puntos para el desarrollo del acondicionamiento del sensor Pt100.

Figura 19

Pendiente de la recta a partir de dos puntos para la Pt100



Realizar el cálculo de resistencias para el amplificador restador:

$$R_1 = R_3$$

$$R_2 = R_4$$

Estas resistencias tendrán un valor de $10k\Omega$, es decir que: $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10k\Omega$

$$V_o = \frac{R_7}{R_4} (V_B - V_A)$$

$$\text{Para } 20^\circ C \rightarrow V_o = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} (6,225V - 6V) = 0,225V$$

$$\text{Para } 40^\circ C \rightarrow V_o = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} (6,433V - 6V) = 0,433V$$

Cálculo de la pendiente de la recta:

$$m = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$m = \frac{5 - 1}{0,433 - 0,225} = 19,231 \rightarrow \text{Ganancia}$$

$$y = mx + b$$

$$b = y - mx = y_2 - mx_2$$

$$b = 5 - (19,231)(0,433) = -3,327 \rightarrow \text{Fuente de alimentación adicional}$$

$$G = \frac{R_9}{R_8}; \text{Asumo } R_1 = 1k\Omega$$

$$R_9 = G * R_8$$

$$R_9 = 19,231 * 1k\Omega = 19,231k\Omega$$

$$V_{o1} = -\frac{R_9}{R_8} * V_{in}$$

$$V_{o1} = -\frac{19,231k\Omega}{1k\Omega} * 0,225V = -4,327V$$

$$V_{o2} = -\left[\frac{R_{12}}{R_{11}} * V_{in} + \frac{R_{12}}{R_{10}} * V_{in}\right]$$

$$V_{o2} = -\left[\frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (3,327) + \frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (-4,327V)\right]$$

$$V_{o2} = -[3,327 - 4,327V]; V_{o2} = 1V$$

$$V_{o1} = -\frac{R_9}{R_8} * V_{in}$$

$$V_{o1} = -\frac{19,231k\Omega}{1k\Omega} * 0,433V = -8,327V$$

$$V_{o2} = -\left[\frac{R_{12}}{R_{11}} * V_{in} + \frac{R_{12}}{R_{10}} * V_{in}\right]$$

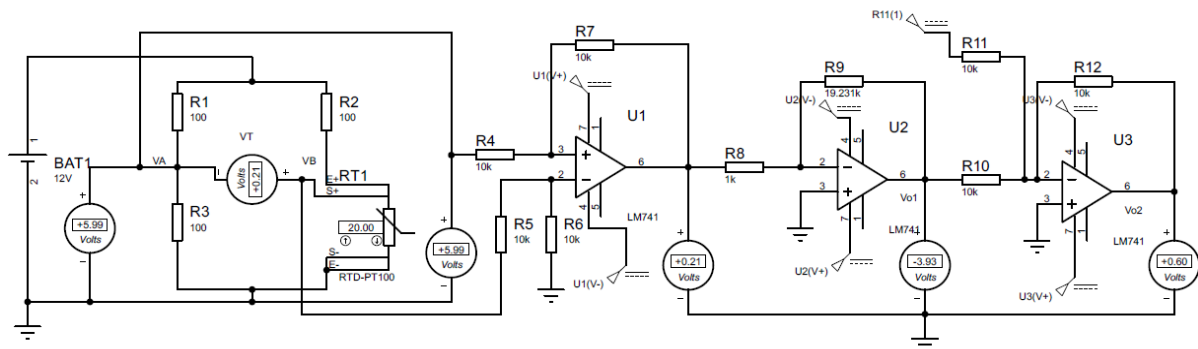
$$V_{o2} = -\left[\frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (3,327) + \frac{10k\Omega}{10k\Omega} * (-8,327V)\right]$$

$$V_{o2} = -[3,327 - 8,327V]; V_{o2} = 5V$$

En el circuito de la Figura 20, se observa la simulación del circuito con sus respectivos valores de voltaje medidos cuando la temperatura medida por el RTD es de 20°C.

Figura 20

Acondicionamiento del sensor de temperatura Pt100

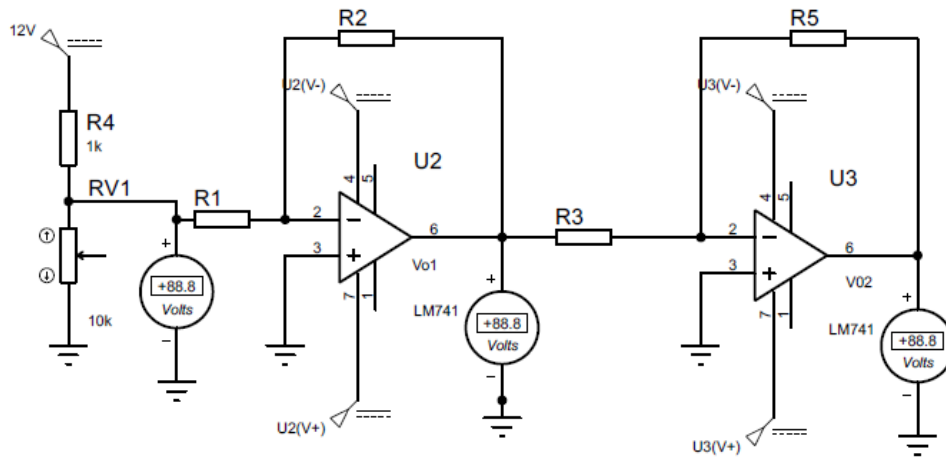


Ejercicios propuestos

1. Se requiere realizar la medición de temperatura del proceso de pasteurización de bebidas lácteas, para lo cual se va a medir la temperatura desde 10 °C hasta 120 °C utilizando un divisor de tensión y un amplificador operacional inversor (ver Figura 21).
 - a) Establecer una ganancia de 100 en el amplificador operacional configurado como inversor y calcular los valores de las resistencias necesarias para alcanzar dicha ganancia.
 - b) Desarrollar los cálculos correspondientes para obtener el voltaje de salida en función de la temperatura medida.
 - c) Realizar la simulación del circuito utilizando un software apropiado.
 - d) Implementar físicamente el circuito en el laboratorio y verificar su funcionamiento mediante pruebas reales.

Figura 21

Medición de temperatura utilizando divisor de tensión

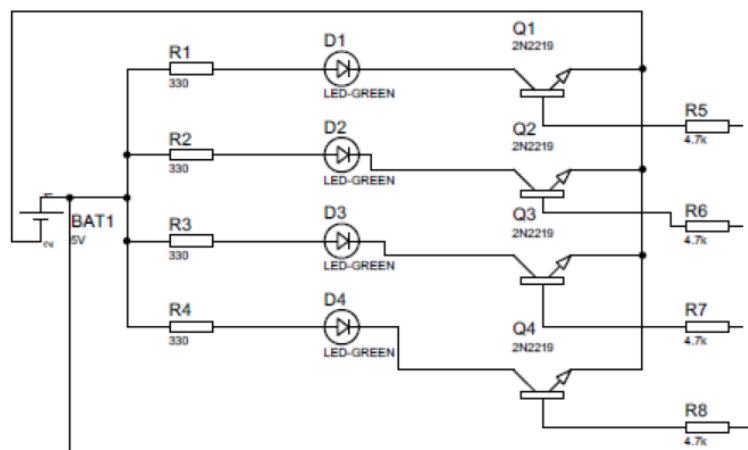


2. Realizar los cálculos e implementar un puente de Wheatstone, alimentado con 1 Vcd, para medir la variación de un sensor de temperatura termistor NTC. La salida del puente de Wheatstone se conecta a un amplificador de instrumentación ajustado a una escala de 0 a 5V DC. Cuando se alcancen los 5Vdc, debe encenderse la carga conectada (foco de 120Vac).

3. Implementar el circuito mostrado en la Figura 22, correspondiente a un sensor de nivel de agua utilizando transistores. Para la verificación práctica del funcionamiento, conecte un arreglo de 20 LEDs que indiquen visualmente los distintos niveles del líquido. Además, utilice un recipiente transparente con marcas de división por litros, de modo que se pueda comprobar la correspondencia entre el nivel real del agua y el encendido progresivo de los LEDs.

Figura 22

Sensor de nivel de agua con transistores



4. Implementar un sistema de monitoreo de nivel de agua utilizando un sensor de nivel tipo flotador conectado a un Arduino. El sistema debe encender dos LEDs: el primer led se enciende cuando el tanque está vacío o por debajo del nivel mínimo, y el segundo led se enciende cuando el tanque esté lleno o se alcance el nivel máximo. El dato del nivel de agua se visualiza en una pantalla LCD.

5. Diseñar un medidor el flujo de agua con un caudalímetro de manera que se enciendan diferentes LEDs según el rango de caudal detectado. El sensor de flujo genera pulsos por segundo proporcional al caudal del agua, mientras que el microcontrolador (Arduino) cuenta esos pulsos durante un segundo. Calcular el caudal (L/min) y encender: el LED rojo: si el caudal es bajo (< 4 L/min), el LED amarillo: si el caudal es medio (entre 4 y 7 L/min) y LED verde: si el caudal es alto (> 7 L/min).

UNIDAD 3 ACTUADORES DE CONTROL

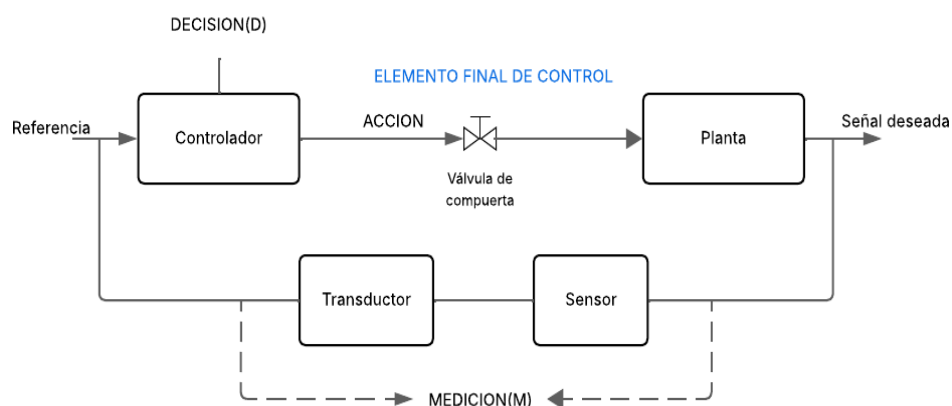
Introducción a los sistemas de actuación y su función en la automatización

Los sistemas de actuación son fundamentales en el ámbito del control industrial, ya que se encargan de transformar la señal de salida que proviene de un microprocesador o controlador en una acción física que se ejecuta directamente a un dispositivo. Por ejemplo, una señal eléctrica puede convertirse en un movimiento lineal para mover una carga o en una acción mecánica que controle el flujo de un líquido. Estos sistemas incluyen diferentes tipos de actuadores, ya sean eléctricos, neumáticos o hidráulicos, que utilizan mecanismos como diafragmas, pistones o motores para llevar a cabo la acción correctiva que el sistema de control ha determinado, garantizando así que el proceso se mantenga dentro de los parámetros deseados.

La Figura 23 ilustra el diagrama de bloques de un sistema de control con realimentación, donde la medición es realizada por un sensor-transductor. Este dispositivo envía la información para que sea comparada con la señal de referencia. Luego, la señal de error se envía al controlador, cuya salida activa el actuador. Este, a su vez, opera la válvula que ejecuta una acción física sobre el proceso, impactando directamente en el rendimiento de la planta.

Figura 23

Diagrama de bloques de un sistema de control realimentado



Tipos de Actuadores

El papel que desempeñan los actuadores de control es convertir la señal de salida de un controlador en una acción física que modifica una variable del proceso. Esta acción puede consistir en el movimiento de un mecanismo, el desplazamiento de una carga, o la regulación del paso de un fluido. En la Tabla

3 se destacan las características de los actuadores más utilizados, siendo los neumáticos, que funcionan con aire comprimido; los hidráulicos, que operan con fluidos a presión; y los eléctricos, que aprovechan motores o elementos electromecánicos. Estos dispositivos pueden integrarse con diferentes sistemas y tipos de válvulas, permitiendo un control preciso en diversas condiciones industriales.

Tabla 3

Características de los tipos de actuadores

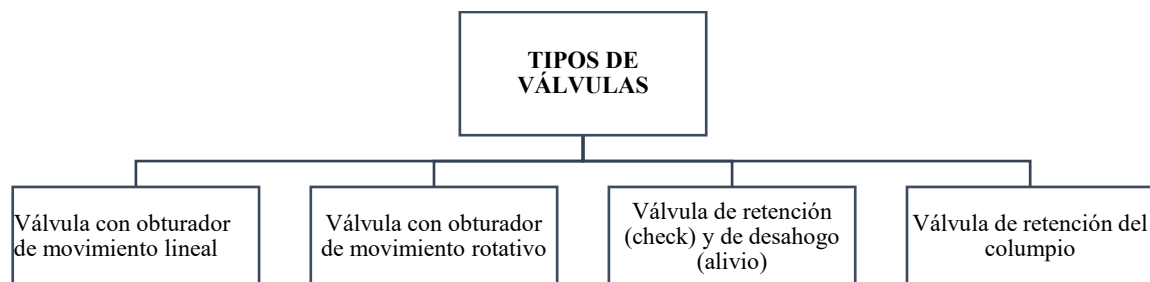
Característica	Electrónicos	Hidráulicos	Neumáticos
Fuente de energía	Electricidad (motores pasos a paso, servomotores DC/AC)	Fluido hidráulico a presión (aceite mineral o sintético)	Aire comprimido
Precisión	Muy alta (resolución ~0,01 mm con encoder y realimentación)	Media-alta ($\pm 0,05 - 0,2$ mm con servo-válvulas proporcionales)	Media ($\pm 0,1 - 0,5$ mm, dependiente de la estabilización de presión)
Velocidad	Media-alta (0,01 – 1 m/s; limitada por el motor y la transmisión)	Variable (0,01 – 0,3 m/s; ajustable mediante válvulas proporcionales)	Muy rápida (0,1 – 1,5 m/s; respuesta en decenas de ms)
Fuerza / torque	Baja-media (desde unos pocos N hasta ~5 kN en grandes husillos)	Muy alta (5 kN a decenas de MN, según bomba y cilindro)	Media (100 N a ~10 kN según diámetro del cilindro y presión)
Mantenimiento	Bajo (sólo lubricación de rodamientos y guía; ningún riesgo de fugas peligrosas)	Alto (bombas, filtros, tuberías y sellos; riesgo de fugas de aceite)	Medio (sellos, filtros de aire y posibles fugas; mantenimiento de compresor)
Costo total de implementación	Medio (cableado, controladores y driver; coste moderado por unidad)	Alto (infraestructura de bombas, tanque, tubos y válvulas de control proporcional)	Bajo-medio (cilindros y válvulas sencillas, pero requiere red de aire comprimido y compresor)
Ruido	Bajo (< 60 dB; ruido de motor y engranajes)	Medio (65–75 dB; ruido de bomba y válvulas)	Alto (70–85 dB; escape de aire y solenoides)
Seguridad	Alta (fácil integración de paradas de emergencia; sin fugas, en entornos sin riesgo de explosión)	Media-baja (peligro de fugas de fluido a alta presión; requiere sistemas antirretorno y disipadores de energía)	Media (posible golpe de ariete, golpes inesperados por pérdida de presión; en entornos sin riesgo de explosión)
Aplicaciones típicas	Robótica, automatización industrial, maquinaria de precisión, Posicionadores de precisión en óptica y semiconductores	Prensa hidráulica, sistema de elevación, maquinaria pesada, Equipos de construcción (excavadoras, grúas) Sistemas de freno y dirección asistida en vehículos pesados	Puertas automáticas, Sistemas, dosificación de líquidos y polvos en farmacéutica y alimentos, accionamientos de compuertas y válvulas de aire en procesos de envasado

Tipos de válvulas

Las válvulas son los elementos finales de control y se usan para obtener el valor deseado de la variable de proceso en los lazos de control. Para accionar la válvula existen diferentes tipos de actuadores: neumáticos, hidráulicos y eléctricos. Éstos pueden ser utilizados con cualquiera de los cuerpos de las válvulas que se detallan en la Figura 24.

Figura 24

Tipos de válvulas



En la Tabla 4 se detallan las características de las válvulas con obturador de movimiento lineal, mismas que se caracterizan por el desplazamiento del obturador a lo largo de su propio eje para modular el flujo.

Válvula con obturador de movimiento lineal

Tabla 4

Características de válvulas con obturador de movimiento lineal

Característica	Detalle
Movimiento del obturador	Lineal (axial), normalmente vertical respecto al flujo
Capacidad de control	Alta precisión en válvulas de globo y aguja
Estanqueidad	Alta, dependiendo del tipo de sello (blando o metálico)
Materiales comunes	Acero inoxidable, bronce, hierro fundido, plásticos técnicos (PVC, PTFE)
Tipo de actuación	Manual, neumática, hidráulica o eléctrica
Mantenimiento	Medio a alto, requiere revisión periódica de obturador, asiento y empaques
Costo	Variable de acuerdo con: tipo, tamaño, presión y precisión
Normas aplicables	API 600, ASME B16.34, ISO 5208, DIN EN 558

Nota. Esta tabla representa las características de válvulas con obturador de movimiento lineal. Tomado de *Instrumentación industrial*. (Creus Solé, 2011)

En la Tabla 5 se presenta un cuadro resumen de la clasificación de estas válvulas con las características a considerarse para su selección dentro de un proyecto de automatización industrial.

Tabla 5

Tipos de válvulas con obturador de movimiento lineal

Tipo de válvula	Descripción técnica	Aplicaciones comunes
Válvula de globo	El obturador se mueve de forma perpendicular al flujo; ideal para regulación precisa de caudal.	Sistemas de control de temperatura o presión
Válvula de compuerta	Utiliza una compuerta plana que se eleva o baja para permitir o impedir el flujo.	Líneas de conducción de gran diámetro
Válvula de aguja	Similar a la válvula de globo, pero con un obturador más fino para un control muy preciso de bajo flujo.	Instrumentación y laboratorios
Válvula de diafragma	Usa un diafragma flexible que sella al presionar contra el asiento; evita contaminación del fluido.	Industria farmacéutica y alimentaria
Válvula de émbolo (pistón)	Un émbolo se desplaza axialmente para regular el paso del fluido; común en sistemas automatizados.	Automatización industrial

Nota. Esta tabla muestra los tipos de válvulas con obturador de movimiento lineal. Tomado de *Instrumentación industrial*. (Creus Solé, 2011)

Válvulas con obturador de movimiento rotativo

Las válvulas de obturador de movimiento rotativo utilizan un giro angular (generalmente de 90°) para abrir, cerrar o regular el flujo de un fluido. Son ampliamente utilizadas en procesos industriales por su rapidez de operación y diseño compacto. Sus características se resumen en la Tabla 6; por su parte, la Tabla 7 resume su clasificación más frecuente.

Tabla 6

Características de válvulas con obturador de movimiento rotativo

Característica	Detalle
Movimiento del obturador	Rotativo (normalmente 90°, en algunos casos 180° o más)
Tiempo de operación	Rápido (ideal para apertura/cierre frecuente)
Diseño	Compacto, menos espacio que válvulas lineales

Estanqueidad	Alta en válvulas de bola y macho, depende del tipo de asiento
Regulación del flujo	Limitada en algunos tipos (mejor en mariposa y bola segmentada)
Mantenimiento	Bajo a medio; partes móviles accesibles
Materiales comunes	Acero inoxidable, PVC, bronce, hierro dúctil
Accionamiento	Manual, eléctrico, neumático o hidráulico
Normas técnicas	API 608, ISO 5211, ASME B16.34

Tabla 7

Tipos de válvulas con obturador de movimiento rotativo

Tipo de válvula	Descripción técnica	Aplicaciones comunes
Válvula de bola (Ball Valve)	Usa una esfera perforada que gira 90° para permitir o bloquear el paso del fluido.	Corte rápido de flujo, gas y líquidos
Válvula de mariposa (Butterfly Valve)	Tiene un disco circular que gira sobre su eje, regulando o bloqueando el flujo.	Sistemas de agua, HVAC, industria química
Válvula de macho (Plug Valve)	Utiliza un tapón cilíndrico o cónico con un paso transversal; gira para abrir o cerrar.	Aplicaciones con líquidos viscosos o gases
Válvula esférica segmentada (Segmented Ball Valve)	Similar a la de bola, pero con un segmento que permite mejor control de caudal.	Procesos con control más preciso del flujo

Nota. Esta tabla muestra los tipos de válvulas con obturador de movimiento rotativo. Tomado de *Instrumentación industrial* (Creus Solé, 2011).

Criterios para la selección de un actuador

Para seleccionar un actuador industrial, es fundamental evaluar cuidadosamente sus rasgos en relación con las necesidades específicas del proceso, tipo de movimiento, fuerza o torque, condición del entorno, requisitos de energía, costo y mantenimiento.

En la Tabla 8 se describen los criterios a considerar según el tipo de acción física que debe realizar el actuador.

Tabla 8

Criterios de selección de un actuador en función del tipo de movimiento

Criterio	Análisis	Detalle	Ejemplos Relevantes
1. Tipo de Movimiento Requerido	¿Qué tipo de acción física debe realizar el actuador?	Movimiento Lineal:	Abrir/Cerrar válvulas de control de movimiento lineal (ej. válvulas de globo, válvulas de solenoide) Desplazar una carga en un proceso de manufactura (ej. cilindros neumáticos o hidráulicos) Controlar el vástago de una válvula de control de proceso Actuadores de pistón lineal (cilindros de simple o doble efecto) Solenoides lineales para carreras cortas (generalmente hasta 25 mm)
		Movimiento Rotativo:	Abrir/Cerrar válvulas de control de movimiento rotativo (ej. válvulas de mariposa, de bola) Rotar un eje (ej. motores eléctricos para transportadores, mezcladores) Posicionamiento angular preciso (ej. motores paso a paso para unidades de disco duro o brazos de robot). motores rotatorios (eléctricos, neumáticos, hidráulicos)
		Control de Potencia:	Regulación precisa de potencia entregada a resistencias de calefacción (ej. hornos, máquinas de extrusión) utilizando rectificadores controlados de silicio (SCR)
		Combinación de Movimientos:	Realizar secuencias complejas que involucren traslación y rotación (ej. manipuladores de robots)

En la Tabla 9 se resumen los criterios a considerar en función de la fuerza o torque necesarios:

Tabla 9

Criterios de selección de un actuador en función de la fuerza o torque requerido

Criterio	Análisis	Detalle	Ejemplos Relevantes
2. Fuerza o Torque Requerido	¿Cuál es la fuerza o el par (torque) necesario para operar el elemento final de control?	Fuerza de Operación:	Para servomotores neumáticos, el margen usual es de 3-15 psi (0.2-1 bar) Podría ser necesario sobredimensionar un actuador si la fuerza de un servomotor estándar no es suficiente, logrando mayor fuerza con un área efectiva de diafragma mayor Para válvulas, consultar tablas del fabricante para la presión diferencial máxima que puede admitir en posición de cierre, ya que presiones superiores podrían impedir el cierre. Los cilindros hidráulicos tienen mayor capacidad de fuerza que los neumáticos (ej. 29.5 kN para un hidráulico de 100 mm de diámetro a 15 MPa vs. 982 N para un neumático de 50 mm de diámetro a 500 kPa) Las válvulas de tres posiciones pueden requerir actuadores potentes debido a fuerzas no balanceadas en el obturador 42.30...
		Par (Torque) de Operación:	Los servomotores eléctricos deben disponer de un par elevado para altas presiones diferenciales y velocidades de actuación, resultando en un tamaño considerable Rangos de pares típicos para servomotores eléctricos: 45 N·m, 400 N·m, 7.500 N·m Para motores paso a paso, considerar el par de retención, par máximo de enganche y par máximo de desenganche.

Nota. Esta tabla muestra los criterios de selección de un actuador en función de la fuerza o torque requerido.

Tomado de *Sistemas de Control Electrónico: Mecatrónica y Eléctrica* por Bolton (2013).

La Tabla 10 expone los criterios a considerar en función de las condiciones del entorno:

Tabla 10

Criterios de selección de un actuador en función de las condiciones del entorno

Criterio	Análisis	Detalle	Ejemplos Relevantes
3. Condición del Entorno	¿Cuáles son las condiciones ambientales en el lugar de instalación?	Temperatura	Considerar el rango de temperatura de operación del actuador y sus componentes (ej. empaquetaduras de teflón hasta 220°C) Materiales del cuerpo y obturador de la válvula deben resistir la temperatura del fluido8....Los medidores Coriolis pueden medir temperaturas entre -250 °C y 400 °C Los sensores de temperatura como termopares tipo E son adecuados para temperaturas entre -200°C y +900°C
		Humedad y Polvo	Verificar la protección de los componentes contra humedad y polvo (ej. envolventes IEC y NEMA que definen grados de protección IP) Las células de carga están protegidas contra humedad y polvo
		Corrosión y Erosión	Seleccionar materiales del cuerpo y obturador de la válvula resistentes a la corrosión y erosión del fluido (ej. acero inoxidable, PVC, fluoro carbonos, cerámicas) El material del tubo en los medidores de Coriolis debe soportar la corrosión y erosión del fluido
		Vibraciones y Golpes	Los termómetros bimetalicos enrollados en espiral son robustos y menos sujetos a vibración Los manómetros deben protegerse de golpes y vibraciones Las válvulas termoplásticas no son adecuadas en casos de fuerte vibración o abuso mecánico La histéresis en sensores es necesaria para prevenir el encendido y apagado rápido cuando el sensor y/o el objeto están sometidos a golpes o vibraciones La amplitud de la vibración debe ser menor que la banda de histéresis
		Atmósferas Peligrosas (Inflamables/Explosivas)	Asegurarse de que el actuador y sus sistemas sean intrínsecamente seguros o a prueba de explosión, cumpliendo con normativas (ej. IEC 61508) Los controladores neumáticos pueden instalarse directamente en áreas peligrosas La selección de equipos en ubicaciones peligrosas debe consultar el National Electrical Code (NEC) para clasificación de clases, divisiones y grupos

Nota. Esta tabla indica los criterios de selección de un actuador en función de las condiciones del entorno. Tomado de *Instrumentación Electrónica: Transductores y Acondicionadores de Señal* por Pérez García (2004).

En la Tabla 11 se detallan los requisitos de energía, costo y mantenimiento:

Tabla 11

Criterios de selección de un actuador en función de los requisitos de energía, costo y mantenimiento

Criterio	Análisis	Detalle	Ejemplos Relevantes
4. Requisitos de Energía, Costo y Mantenimiento	¿Qué tipo de energía está disponible y cuál es la más adecuada? ¿Cuál es el presupuesto y cuáles los requisitos de mantenimiento a largo plazo?	Energía	Neumática: Ampliamente utilizada (90% de válvulas de control) Sencilla, barata, rápida, sin fricción⁷90. Requiere aire limpio a presión específica (ej. 1.4 bar o 20 psi) Su principal desventaja es la compresibilidad del aire. Actúa como filtro ante oscilaciones rápidas de la señal de control Proporciona una posición de seguridad por diseño (sin aire abre o cierra)⁷ Eléctrica: No necesita aire Avance en velocidad, par disponible y comunicaciones (4-20 mA c.c., HART, Foundation Fieldbus) Utilizada en dispositivos de control de alta potencia Más costosos que los neumáticos. Riesgos asociados con fugas de aceite⁹192. Extremadamente rápidos, potentes y suaves, pero de coste elevado.
		Costo	El costo inicial de algunos componentes (ej. tubos Venturi) puede ser alto, pero pueden generar ahorros a largo plazo debido a mayor exactitud. Los cilindros hidráulicos son más costosos que los neumáticos. Los motores de inducción son generalmente más baratos que los síncronos. Los PLCs pueden tener un costo inicial alto. La alta precisión y sensibilidad de un instrumento se relaciona directamente con un mayor costo La inversión total del ciclo de vida (incluyendo mantenimiento, expansiones, ingeniería y entrenamiento) el 70%-80% de este costo depende de la solución de automatización adoptada
		Mantenimiento y Fiabilidad	Los instrumentos de equilibrio de fuerzas son menos susceptibles a errores por fatiga del metal, lo que implica menor mantenimiento. Los controladores neumáticos son extraíbles para sustitución inmediata en caso de avería. Los actuadores eléctricos avanzados pueden registrar el número de carreras y el camino recorrido por el vástago, facilitando el mantenimiento predictivo Los posicionadores inteligentes ofrecen funciones de diagnóstico en línea para conocer el estado de la válvula y actuador (ej. rozamiento, histéresis, longitud recorrida, velocidad del vástago) El software de gestión de mantenimiento de instrumentos puede reducir la labor de calibración y documentación, permitiendo la comprobación, configuración y calibración remota La calibración periódica es esencial, anualmente para aparatos normales y semestralmente en procesos críticos, aunque el análisis de la deriva del instrumento puede guiar la frecuencia.

Nota. Esta tabla representa los Criterios de selección de un actuador en función de los requisitos de energía, costo y mantenimiento. Tomado de *Instrumentación Básica de Procesos Industriales* por Morales Sánchez (2007).

Proceso de selección

El proceso de selección de estos actuadores es crítico para garantizar el rendimiento, la confiabilidad, la disponibilidad y el costo óptimos del sistema. Como guía de este proceso, considere los siguientes pasos:

Paso 1: Análisis de los requisitos del sistema Este paso implica una definición detallada de lo que el sistema necesita, las limitaciones que enfrenta y el entorno en el que operará como se especifica en la Tabla 12.

Tabla 12

Criterios de análisis de los requisitos del sistema

¿Qué función específica debe realizar el actuador?	Definir la función concreta, condiciones necesarias que el actuador debe generar (ej., abrir/cerrar una válvula, encender/apagar un calentador).
¿Cuáles son las restricciones y el entorno operativo?	▪ Determinar las limitaciones de volumen y el tipo de movimiento: lineal, rotatorio, cíclico requerido por el sistema. ▪ Precisión: Especificar el posicionamiento o la acción del actuador. ▪ Interfaces: Compatibilidad con las señales de control: Neumáticas, digitales o analógicas. ▪ Requisitos de Potencia: para mover las cargas. ▪ Considerar la temperatura, humedad, vibraciones, interferencias electromagnéticas y la presencia de atmósferas explosivas. ▪ Normas y Códigos: Asegurarse de cumplir con los estándares y códigos de práctica relevantes. ▪ Identificar las fuerzas y presiones máximas que el actuador debe soportar, como la presión diferencial de la válvula o la fuerza de asentamiento. ▪ Protección contra sobrecargas o interrupciones de la alimentación.

Nota. Esta tabla muestra los criterios de análisis de los requisitos del sistema. Tomado de *Tutorial Norma ISA*

S5.1 y Diagramas P&ID por Carballo Sierra & Romero Lara (2011).

Paso 2: Evaluación comparativa de tecnologías de actuadores Considerar las características intrínsecas de cada tecnología de actuador como se detalla en la Tabla 13.

Tabla 13

Criterios de Evaluación Comparativa de Tecnologías de Actuadores

Identificación de Tecnologías Potenciales:	▪ Actuadores Neumáticos: Evaluar su robustez, idoneidad para válvulas grandes y áreas peligrosas, y su capacidad para funcionar sin alimentación eléctrica si hay suministro de aire. Considerar la necesidad de aire limpio y regulado (ej. 1,4 bar o 20 psi). ▪ Actuadores Hidráulicos: Considerar su alta potencia, pero también sus mayores costos y riesgos asociados con fugas de aceite. ▪ Actuadores Eléctricos (Motores y Calentadores): Analizar su capacidad de regulación precisa de la potencia, su utilidad en sistemas lentos y grandes (como calentadores eléctricos). ▪ Sistemas de Control Digital: Evaluar si se utilizarán Controladores Lógicos Programables (PLC) o Sistemas de Control Distribuido (DCS) para la implementación del control, lo que influye en la interfaz y las capacidades del actuador.
---	--

**Análisis de Desempeño
y Características
Técnicas**

- Revisar las especificaciones del fabricante, que incluyen datos sobre incertidumbre, características de operación y parámetros de ajuste.
- Características Dinámicas: Evaluar la linealidad, histéresis y zona muerta del actuador, ya que influyen en la precisión del control.
- Tiempos de Respuesta: Analizar los tiempos de respuesta del actuador y cómo se acoplan con la dinámica del proceso.
- Compatibilidad: Verificar la compatibilidad de la acción del actuador (directa o inversa) con la lógica del controlador.
- Mantenimiento y Diagnóstico: Considerar las funciones avanzadas de mantenimiento predictivo, diagnosticar el estado del actuador sin desmontarlo.

Nota. Esta tabla muestra los Criterios de Evaluación Comparativa de Tecnologías de Actuadores. Tomado de *Mecatrónica. Sistemas de Control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* por Bolton (2013) y *Instrumentación industrial* por Creus Solé (2011).

Paso 3: Criterios de decisión y optimización: La elección final es un balance entre el costo y la calidad de control deseada establecido en la Tabla 14.

Tabla 14

Criterios de Decisión y Optimización

Compromiso Calidad-Costo	▪ ¿La solución elegida satisface la tolerancia requerida por el proceso sin incluir refinamientos que aumenten innecesariamente el costo? ▪ Considerar la flexibilidad y capacidades de los controladores digitales (PID con autoajuste, control avanzado) para asegurar un control óptimo, incluso si el proceso o sus perturbaciones no son completamente conocidos. ▪ Evaluar la reducción de costos de instalación y mantenimiento que puede ofrecer el uso de tecnologías avanzadas, como sensores y válvulas inteligentes con bus de campo.
Estabilidad y Fiabilidad del Control	▪ ¿Se han considerado los métodos de ajuste del controlador (ej. Ziegler & Nichols, método de la curva de reacción) para asegurar la estabilidad del lazo de control (proceso + transmisor + controlador + válvula de control)? ▪ ¿Se han implementado técnicas de análisis de fallos y estudios ergonómicos para minimizar errores humanos y técnicos, especialmente en sistemas complejos? ▪ ¿Se busca la optimización del rendimiento económico del proceso mediante la aplicación de técnicas de control avanzado, como el control predictivo o estadístico?

Nota. Esta tabla muestra los Criterios de Evaluación Comparativa de Tecnologías de Actuadores. Tomado de *Instrumentación industrial* por Creus Solé (2011) y *Instrumentación Básica de Procesos Industriales* por (Morales Sánchez, 2007).

Ejercicios propuestos

Parte 1: Identificación y conceptos básicos

1. Definición:

En un lazo de control, explique con sus propias palabras la función principal de un actuador y cómo se diferencia de una válvula de control.

2. Tipos de Actuadores:

Mencione los tres tipos principales de energía de accionamiento para actuadores en la Tabla 15.

Para cada tipo, nombre y describa brevemente un ejemplo de actuador o componente común (ej., tipo de cilindro, tipo de solenoide, etc.).

Tabla 15

Ejercicio 2: tipos de actuadores

<u>Energía de accionamiento</u>	<u>Característica</u>	<u>Ejemplo de actuador o componente</u>
<u>1)</u>		
<u>2)</u>		
<u>3)</u>		

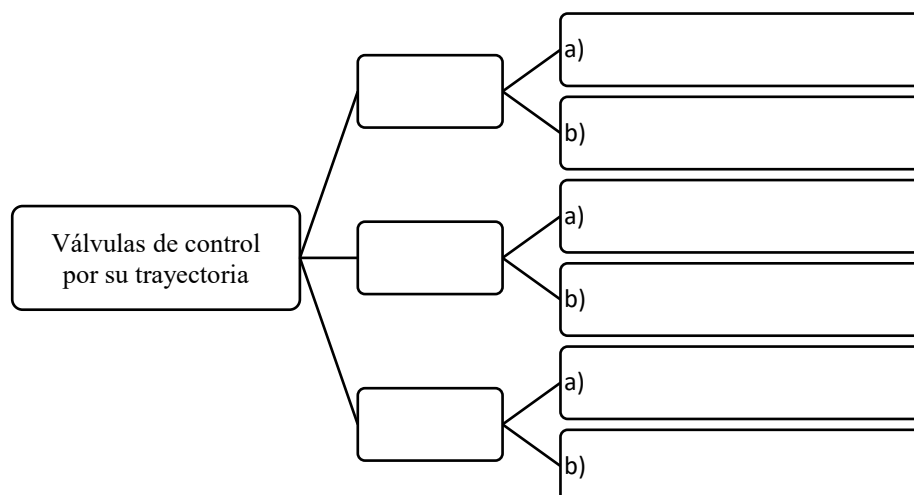
3. Tipos de válvulas:

Clasifique en la Figura 25 las válvulas de control según la trayectoria de movimiento de su obturador.

Para cada clasificación, nombre al menos dos tipos específicos de válvulas.

Figura 25

Ejercicio 3: Tipos de válvulas



Parte 2: Análisis y aplicación en escenarios

1. Escenario de control de nivel:

Imagine que se necesita controlar el nivel de un tanque que contiene un líquido altamente corrosivo, y es fundamental asegurar un cierre hermético de la válvula de entrada.

- a) ¿Qué tipo de válvula de control con movimiento lineal sería comúnmente considerada por su capacidad de cierre hermético?
- b) Si se utiliza un transmisor de nivel de presión diferencial, ¿cómo un diafragma de aislamiento contribuye a proteger el elemento sensor del instrumento?
- c) Si el actuador de esta válvula es neumático y se configura para que la válvula cierre en caso de una falla en el suministro de aire (acción inversa), ¿qué característica de diseño o accesorio del actuador permite esta operación segura?

2. Escenario de medición de caudal de lodos:

En una planta, se requiere medir el caudal de una lechada espesa que tiende a obturar las líneas de detección convencionales.

- a) De los elementos primarios de caudal, ¿qué tipo se menciona como especialmente útil para caudales de fangos o lechadas, particularmente cuando la presión se detecta mediante diafragmas de sellado remoto para evitar obturaciones?

Parte 3. Casos prácticos

Para cada uno de los escenarios industriales propuestos en la Tabla 16 de Ejercicios, el estudiante deberá:

1. Analizar el "Requisito de Control" y las "Propiedades del Fluido" presentadas.
2. Sugerir el "Tipo de Actuador" más adecuado.
3. Justificar su elección del actuador, explicando por qué sus características son las óptimas para el escenario.
4. Sugerir el "Tipo de Válvula" más apropiado (si aplica).
5. Sugerir la "Curva Característica" de la válvula que mejor se adapte al requisito de control.
6. Justificar la elección de la válvula y su curva característica.
7. Mencionar cualquier "Consideración Adicional" relevante (ej. costos, mantenimiento, seguridad, flexibilidad, tecnología).

Tabla 16

Ejercicio: Selección de actuadores y válvulas de control

Caso/Escenario Industrial	Requisito de Control / Propiedades del Fluido	Tipo de Actuador Sugerido	Justificación del Actuador (Basado en Fuentes)	Tipo de Válvula Sugerida (si aplica)	Curva Característica Sugerida (si aplica)	Justificación de Válvula/Curva (Basado en Fuentes)	Consideraciones Adicionales
1. Regulación Precisa de Nivel en Tanque de Agua	Mantener el nivel de agua entre límites estrechos (± 1 cm), con modulación continua ante variaciones de demanda.	Actuador de Diafragma Neumático	Son ampliamente utilizados por su simplicidad, bajo costo y baja fricción. El 90% de las válvulas de control en la industria son accionadas neumáticamente. Ofrecen una actuación rápida y gran capacidad de esfuerzo para control modulante.	Válvula de Globo	Isoporcentual	La válvula de globo es una de las más comunes y ofrece un cierre hermético, adecuada para modulación. La curva isoporcentual es la más empleada en general, ofreciendo una rangeabilidad superior (50:1), lo que la hace ideal para procesos donde el comportamiento dinámico no es bien conocido o hay cambios de carga importantes.	Facilidad de mantenimiento, bajo consumo de energía (aire comprimido), pero requiere suministro constante de aire.
2. Control Rápido de Presión de Vapor (Seguridad)	Desfogar o cerrar rápidamente una línea de vapor si la presión excede un límite crítico, para evitar sobrepresiones. (Control "Todo o Nada").	Solenoide Eléctrico	Los solenoides son actuadores operados eléctricamente que producen un movimiento de carrera corta (típicamente hasta 25 mm) [Guía, 496]. Son ideales para acciones rápidas y dispositivos de carrera corta [Guía, 496], perfectos para un control de seguridad on/off.	Válvula de Bola o Macho (Tapón)	Apertura Rápida	Las válvulas de bola o macho son adecuadas para control manual todo-nada. La curva de apertura rápida produce un cambio considerable en el caudal con un pequeño movimiento del vástago, lo que es fundamental para una respuesta inmediata en situaciones de seguridad.	Considerar el material de la válvula para resistir altas temperaturas y presiones del vapor. Simplicidad del circuito de control.
3. Regulación de Caudal en Proceso con Fluido Viscoso	Controlar el caudal de un fluido altamente viscoso (ej. melaza, polímero) que requiere modulación precisa y un cierre estanco para evitar fugas y acumulación.	Cilindro Hidráulico	Los cilindros hidráulicos se emplean para dispositivos que requieren mayor potencia, lo cual es ventajoso al manejar fluidos viscosos y superar las resistencias inherentes al flujo.	Válvula de Disco Excéntrico (Camflex)	Isoporcentual	La válvula Camflex se caracteriza por un obturador de superficie esférica segmentada que se autoalinea, lo que le permite un cierre estanco y genera bajas fuerzas dinámicas del fluido. Esto la hace ideal para fluidos con tendencia a la acumulación o alta viscosidad, permitiendo el uso de servomotores de par reducido. La curva isoporcentual asegura rangeabilidad superior y control preciso en el proceso.	Mayor costo y riesgo de fugas de aceite en comparación con los sistemas neumáticos. Requiere mantenimiento específico del sistema hidráulico.

UNIDAD 4 NORMAS ISA

Introducción a las Normas ISA (International Society of Automation, 2020)

La International Society of Automation (ISA) es una organización profesional reconocida a nivel mundial por el desarrollo de estándares técnicos que promueven la eficiencia, seguridad, calidad y sostenibilidad en los sistemas de automatización e instrumentación industrial. Las normas ISA constituyen una guía clave para ingenieros, técnicos y profesionales del sector industrial, ya que proporcionan lineamientos precisos para el diseño, instalación, operación y mantenimiento de sistemas de control y automatización, en un lenguaje que puede ser entendido por cualquier usuario de la norma. Existen múltiples apéndices de la norma que se especializan en áreas determinadas, puntualmente en este capítulo se abordan: ISA-5: Diagramas e Identificación, ISA-18: Alarmas y Anuncios, ISA-20: Identificación de Equipos y Componentes, ISA-82.01: Normas Generales para Componentes Electrónicos, ISA-82.02: Normas Específicas para Aplicaciones Electrónicas

Estas normas ISA, en conjunto con el resto de las secciones disponibles, permiten establecer un marco técnico coherente y sistemático para el desarrollo de soluciones de automatización, promoviendo la interoperabilidad, calidad y eficiencia de los procesos industriales. Su correcta aplicación contribuye al logro de operaciones más seguras, sostenibles y alineadas con los estándares internacionales.

ISA-5: Diagramas e identificación

La norma ISA-5 establece los principios y convenciones para la elaboración de diagramas de instrumentación, como los diagramas de lazos de control, diagramas de flujo de procesos (PFD), y diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID). También define los símbolos gráficos normalizados y los códigos de identificación de instrumentos, facilitando la interpretación estandarizada de los sistemas de control.

ISA-18: Alarmas y anuncios

La ISA-18 se enfoca en los sistemas de alarmas industriales, incluyendo su diseño, implementación, gestión y evaluación, con el objetivo de mejorar su desempeño y evitar la sobrecarga de información a los operadores. La norma promueve buenas prácticas para la priorización y análisis de alarmas, fortaleciendo la seguridad operativa y la respuesta ante emergencias. La gestión adecuada del sistema

de alarmas sigue varias etapas: se basa en una Filosofía de Alarmas como documento central, define claramente qué es una alarma (debe indicar una situación anormal, requerir acción inmediata, tener consecuencias si se ignora), racionaliza las alarmas eliminando las innecesarias, almacena la información en una Base de Datos Maestra (MADB), aplica procedimientos de Gestión del Cambio (MOC) y se somete a auditoría.

ISA-20: Identificación de Equipos y Componentes

La norma ISA-20 proporciona lineamientos para la documentación e identificación estandarizada de equipos eléctricos, electrónicos y de instrumentación. Incluye recomendaciones para el etiquetado, numeración y trazabilidad de dispositivos dentro de sistemas industriales, lo cual facilita la instalación, operación y mantenimiento. Esta norma es crucial para garantizar la consistencia documental a lo largo del ciclo de vida de los sistemas automatizados.

Dada la complejidad inherente a los instrumentos y sistemas de control actuales, resulta imperativo disponer de un modelo de especificación estandarizado que permita catalogar los detalles relevantes para su aplicación por parte de todas las entidades involucradas.

ISA-82.01: Normas Generales para Componentes Electrónicos

La ISA-82.01 establece criterios generales para la selección, aplicación, y uso de componentes electrónicos en entornos industriales. Incluye recomendaciones sobre características eléctricas, mecánicas, térmicas y ambientales de dispositivos como resistencias, capacitores, diodos y transistores. Esta norma asegura la confiabilidad y compatibilidad de los componentes en condiciones exigentes de operación.

ISA-82.02: Normas Específicas para Aplicaciones Electrónicas

Complementando a la norma anterior, la ISA-82.02 proporciona especificaciones técnicas detalladas para la aplicación de componentes electrónicos en contextos particulares de la automatización industrial. Esta norma aborda requisitos específicos de diseño, prueba y documentación, enfocados en garantizar el desempeño y la seguridad de los sistemas electrónicos en aplicaciones críticas.

Aplicación de las Normas ISA

En esta guía, la temática se centrará en la aplicación de la norma ISA-5, para la elaboración y lectura

de diagramas de instrumentación.

Instrumentos y denominación

En un plano de instrumentación, cada instrumento se identifica con un código alfanumérico, llamado TAG NUMBER o solo TAG, que se coloca, generalmente, dentro de un círculo según las características mostradas en la Tabla 17. Este código identifica funcionalmente el instrumento mediante las letras mostradas en la

Tabla 18; seguido de números que identifican el lazo de la variable de trabajo.

Tabla 17

Dispositivos de instrumentación y símbolos de funciones

No.	Pantalla compartida Control compartido (1)				Ubicación y accesibilidad
	A	B	C	D	
	Elección primaria o Sistema básico de control	Elección suplente o Sistema de seguridad instrumentado	Sistemas de computadora y software	Discreto	
1					• Ubicado en campo. • Sin panel, gabinete o consola montada. • Visible en la ubicación del campo • Normalmente accesible para el operador.
2					• Ubicado en o frente al panel o consola central o principal. • Visible en la parte frontal del panel o en la pantalla de video. • Normalmente accesible para el operador en el panel o consola.
3					• Ubicado en la parte trasera del panel central o principal. • Ubicado en el gabinete detrás del panel. • No visible en la parte frontal del panel o en la pantalla de video. • Normalmente no accesible para el operador en el panel o consola.
4					• Ubicado en o frente al panel o consola secundario o local. • Visible en la parte frontal del panel o en la pantalla de video. • Normalmente accesible para el operador en el panel o consola.
5					• Ubicado en la parte trasera del panel secundario o local. • Ubicado en el gabinete de campo • No visible en la parte frontal del panel o en la pantalla de video. • Normalmente no accesible para el operador en el panel o consola.

Tabla 18

Letras de identificación funcional de dispositivos de instrumentación

Primeras letras				Letras sucesivas			
	Variable medida	Letra modificación	de	Función de letra	de	Función de salida	Letra modificación
A	Análisis	.....		Alarma		.....	.....
B	Llama (quemador)	.....		Libre		Libre	Libre
C	Conductivida d	.....		.....		Control	.....
D	Densidad o peso específico	Diferencial		.....		.....	.....
E	Tensión (f.e.m)	.....		Elemento primario		.....	.....
F	Caudal	Relación		.....		.....	.....
G	Calibre	.....		Vidrio		.....	.....
H	Manual	.....		.....		.....	Alto
I	Corriente eléctrica	.....		Indicación o indicador		.....	.....
J	Potencia	Exploración		.....		.....	.....
K	Tiempo	.....		.....		Estación de control	.....
L	Nivel	.....		Luz piloto		.....	Bajo
M	Humedad	.....		.....		.....	Medio o intermedio
N	Libre	.....		Libre		Libre	Libre
O	Libre	.....		Orificio		.....	.....
P	Presión o vacío	.....		Punto de prueba		.....	.....
Q	Cantidad	Integración		.....		.....	.....
R	Radiactividad			Registro		.....	.....
S	Velocidad o frecuencia	Seguridad		.....		Interruptor	.....
T	Temperatura	.....		.....		Transmisión transmisor	.....
U	Multivariable	.....		Multivariable		Multivariable	Multivariable
V	Viscosidad	.....		.....		Válvula	.....
W	Peso o fuerza	.....		Vaina sin clasificar		.....	.....
X	Sin clasificar	.....		.....		Sin clasificar	Sin clasificar
Y	Libre	.....		.....		Relé o computador	.....
Z	Posición	.....		.....		Elemento final de control sin clasificar	.....

Válvulas y sus identificaciones

Además, se emplean símbolos para representar elementos finales de control como los señalados en la Tabla 19 y actuadores de los elementos finales de control como los que se encuentran en la

Tabla 20.

Tabla 19

Símbolos de instrumentos (Elementos finales de control)

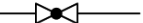
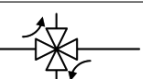
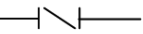
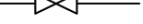
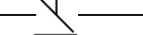
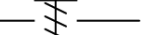
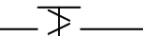
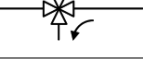
No.	Símbolo	Descripción
1	a)  b) 	Válvula genérica de dos vías. Válvula globo recta. Válvula de compuerta.
2		Válvula genérica de dos vías en ángulo. Válvula en ángulo. Válvula de ángulo de seguridad.
3		Válvula genérica de tres vías. Válvula globo de tres vías. Flecha indica falla o vía de flujo no accionada.
4		Válvula genérica de cuatro vías. Válvula de tapón o bola de cuatro vías con puerto en cruz. Las flechas indican fallas o vías de flujo no accionadas.
5		Válvula de mariposa.
6		Válvula de bola.
7		Válvula de tapón
8		Válvula de disco rotatorio excéntrico.
9	a)  b) 	Válvula de diafragma.
10		Válvula de pinza
11		Válvula sellada con fuelle.
12		Amortiguador genérico. Persiana/louwer genérica.
13		Amortiguador de cuchillas paralelas. Persiana/louwer de cuchillas paralelas.
14		Amortiguador de cuchillas opuestas. Persiana/louwer de cuchillas opuestas.
15		Electroválvula de dos vías, de encendido y apagado.
16		Electroválvula de ángulo, de encendido y apagado.
17		Electroválvula de tres vías, de encendido y apagado. La flecha indica la ruta de flujo sin tensión.
18		Electroválvula de cuatro vías, de macho o de bola, de encendido y apagado. Las flechas indican las rutas de flujo sin tensión.
19		Electroválvula de cuatro vías, de cinco puertos, de encendido y apagado. Las flechas indican las rutas de flujo sin tensión.
20		Acoplamiento de velocidad variable con imán permanente.
21		Motor eléctrico.

Tabla 20

Símbolos de instrumentos (Actuadores de los elementos finales de control)

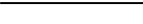
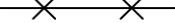
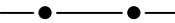
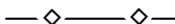
No.	Símbolo	Descripción
1		Actuador genérico. Actuador de resorte-diafragma.
2		Actuador de resorte-diafragma con posicionador.
3		Actuador de diafragma con presión equilibrada.
4		Actuador de pistón lineal. Simple efecto con resorte opuesto. Doble efecto.
5		Actuador de pistón lineal con posicionador.
6		Actuador de pistón rotativo. Puede ser de simple efecto con resorte opuesto o doble efecto.
7		Actuador de pistón rotativo con posicionador.
8		Actuador de fuelle con resorte opuesto.
9		Actuador accionado por motor rotativo. Eléctrico, neumático o hidráulico. Acción lineal o rotativa.
10		Actuador de solenoide modulante. Actuador solenoide para válvula de apertura y cierre de proceso.
11		Actuador con volante de montaje lateral.
12		Actuador con volante montado en la parte superior
13		Actuador manual. Actuador de mano
14		Actuador electrohidráulico lineal o rotativo
15		Actuador con dispositivo de prueba de carrera parcial accionado manualmente
16		Actuador con dispositivo de prueba de carrera parcial accionado remotamente
17		Actuador solenoide de encendido-apagado con reinicio automático Actuador solenoide de encendido-apagado sin enclavamiento
18		Actuador solenoide de encendido-apagado con reinicio manual o remoto Actuador solenoide de encendido-apagado con enclavamiento

Identificación de líneas de proceso

Los procesos deben ser claramente identificados y para ello la norma establece líneas de clases específicas para señalar los flujos de proceso y señales de entrada y salida a los instrumentos que se muestran en la Tabla 21.

Tabla 21

Símbolos de líneas para conexión entre instrumentos

No.	Símbolo	Aplicación
1	IA 	IA puede ser reemplazada por PA (planta de aire), NS (nitrógeno) o GS (cualquier suministro de gas). Indica el suministro de presión según sea necesario, p. ej., PA-70 kPa, NS-150 psig.
2	ES 	Suministro de energía eléctrica para instrumentos. Indica voltaje y tipo según sea necesario, p. ej., ES-220 Vac. ES puede ser reemplazado por 24 Vdc, 120 Vac, etc.
3	HS 	Suministro de energía hidráulica para instrumentos. Indica presión según sea necesario, p. ej., HS-70 psig.
4		Señal indefinida Para diagramas de flujo de proceso. Para discusiones o diagramas donde el tipo de señal no es relevante.
5		Señal neumática, variable continua o binaria.
6		Señal electrónica o eléctrica continuamente variable o binaria. Señal binaria de diagrama funcional.
7		Señal funcional de diagrama, variable continua. Señal de diagrama esquemático eléctrico de escalera y rieles de potencia.
8		Señal hidráulica.
9		Tubo capilar de elemento térmico lleno. Línea de detección llena entre el sello de presión y el instrumento.
10		Señal electromagnética guiada. Señal sónica guiada. Cable de fibra óptica.
11	a)  b) 	Señales electromagnéticas no guiadas, luz, radio, sonido, inalámbricas, etc. Enlace de instrumentación inalámbrica. Enlace de comunicación inalámbrica.
12		Enlace de comunicación y bus del sistema, entre dispositivos y funciones de una pantalla compartida, estación de control del sistema. DCS, PLC o enlace de comunicación de PC y bus del sistema.
13		Enlace de comunicación o bus que conecta dos o más microprocesadores o sistemas basados en computadora independientes. Conexiones DCS-a-DCS, DCS-a-PLC, PLC-a-PC, DCS-a-Dispositivo de campo, etc.
14		Enlace de comunicación y bus del sistema, entre dispositivos y funciones de un sistema de bus de campo. Enlace desde y hacia dispositivos "inteligentes".
15		Enlace de comunicación entre un dispositivo y un sistema o dispositivo de ajuste remoto de calibración. Enlace desde y hacia dispositivos "inteligentes".
16		Enlace o conexión mecánica.

Implementación de normas ISA en proyectos electrónicos

Para implementar de forma correcta las normas en proyectos electrónicos es indispensable tomar en cuenta las siguientes consideraciones(International Society of Automation, 2020):

- La forma gramatical de los significados asignados a las letras puede adaptarse según se requiera. Por ejemplo, “indicar” puede expresarse como “indicador” o “indicación”; “transmitir”, como “transmisor” o “transmitiendo”, entre otras variantes.
- Cualquier letra inicial combinada con las letras modificadoras D (diferencial), F (relación), M (momentáneo), K (variación en el tiempo) o Q (integración o totalización), o con combinaciones de estas, tiene como propósito representar una variable medida distinta. Por ejemplo, los instrumentos TDI y TI indican variables diferentes: temperatura diferencial y temperatura, respectivamente.
- El uso de la letra U para indicar “multivariable” en lugar de una combinación de letras iniciales es opcional.
- La utilización de términos modificadores como “alto”, “bajo”, “medio” o “intermedio”, así como “exploración”, es también opcional.
- El término “seguridad” debe aplicarse únicamente a elementos primarios y finales de control diseñados para proteger ante condiciones de emergencia (peligrosas). Por ello, una válvula autorreguladora de presión que controla la presión de salida se designa como PCV; sin embargo, si esa misma válvula se utiliza como protección ante una emergencia, se identifica como PSV. La sigla PSV se emplea para todas las válvulas diseñadas con fines de protección frente a condiciones peligrosas de presión.
- La letra que representa “indicación” se refiere a la lectura analógica o digital de una variable real del proceso. En controles manuales, puede aplicarse a la indicación de un dial o de un ajuste, como el valor de inicio de una variable.
- Una luz piloto que forma parte de un lazo de control debe identificarse con una letra inicial seguida de la letra L. Por ejemplo, una luz piloto que indica la finalización de un período de tiempo se designa como KQL.

- Los términos “alto”, “bajo”, “medio” o “intermedio” deben hacer referencia a los valores de la variable medida, no a los de la señal, salvo indicación contraria.
- En el caso de válvulas u otros dispositivos de apertura y cierre, los términos “alto” y “bajo” se definen de la siguiente forma: “alto” indica que el dispositivo está completamente abierto o se encuentra próximo a esa posición, y “bajo” señala que está completamente cerrado o en camino a estarlo.
- El término “registro” se refiere a cualquier forma de almacenamiento de información que permite su posterior recuperación por otros sistemas.
- El término “transmisor” se aplica a un instrumento que, mediante un sensor, detecta una señal del proceso y la transmite según una función predefinida de la variable, en forma de señal de salida de instrumento (ya sea neumática, electrónica o digital). Por su parte, un convertidor recibe una señal de instrumento y la transforma en otro tipo de señal (por ejemplo, de 0,2–1 bar a 4–20 mA c.c.).
- La letra inicial Y se utiliza para la monitorización de respuestas asociadas a eventos, en lugar de eventos definidos por tiempo o programación. También puede representar la presencia o el estado de una condición.

Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID)

Los diagramas de tuberías e instrumentación (P&ID) son representaciones gráficas detalladas que muestran el flujo de procesos dentro de una planta industrial, así como todos los equipos involucrados y los sistemas de control e instrumentación asociados. Estos diagramas son fundamentales durante el diseño, operación y mantenimiento de sistemas industriales, ya que proporcionan una visión clara de cómo están integrados los distintos componentes de proceso y automatización.

Recolección de Información y Datos

Antes de comenzar la elaboración de un P&ID, es necesario recolectar información técnica precisa, que incluye:

- Diagramas de flujo de procesos (PFD), que muestran las etapas generales del proceso sin detalles de control.

- Fichas técnicas de los equipos, incluyendo especificaciones mecánicas, eléctricas y de instrumentación.
- Datos de procesos: rangos de presión, temperatura, caudal, nivel y composición.
- Normas y códigos aplicables (ISA, ANSI, API, IEC).
- Requisitos funcionales de control y seguridad del proceso.
- Esta recopilación asegura que el diseño del P&ID esté alineado con los objetivos de producción, seguridad y mantenimiento. (International Society of Automation, 2009)

Planos de Enrutamiento de Señales

Los planos de enrutamiento de señales representan el camino que recorren las señales desde los instrumentos de campo hasta los controladores y viceversa. Estos diagramas ayudan a:

- Determinar el tipo de señal (analógica o digital).
- Identificar la topología de la red de comunicación (bus de campo, estrella, etc.).
- Planificar el cableado, ductería y bandejas porta cables.
- Asegurar la integridad de la señal y evitar interferencias electromagnéticas (EMI).
- Estos planos suelen complementarse con listas de cables, listas de señales y esquemas de control lógico. (Bentley Systems, 2020)

Plano de Localización de Equipos e Instrumentos

Este plano detalla la ubicación física de los equipos e instrumentos dentro de la planta. Permite:

- Facilitar la instalación en campo.
- Comprobar condiciones de accesibilidad y seguridad.
- Planificar rutas de señal y energía.
- Coordinar con otros planos mecánicos y eléctricos.
- El plano incluye referencias cruzadas con el número de etiqueta del instrumento (tag), códigos de identificación según ISA-5.1, y distancias relativas entre elementos críticos. (Liptak, 2006)

Lectura de Planos P&ID

La lectura de un P&ID requiere habilidades interpretativas para comprender: el flujo del proceso y los

medios involucrados (líquido, gas, vapor); los equipos principales (bombas, intercambiadores, reactores); el tipo y función de cada instrumento (transmisores, controladores, válvulas); las señales de control y lazos de automatización; interconexiones con sistemas de seguridad y emergencia. Se consideran los mismos criterios señalados en apartado Implementación de normas ISA en proyectos electrónicos. (Bonet, 2010)

Simbología y Diagramación

La simbología es una parte fundamental en la elaboración de P&ID. Para lograr uniformidad y evitar ambigüedades, se emplean normas como ISA-5.1 e ISO 10628, que especifican símbolos gráficos estandarizados y códigos de letras para funciones instrumentales.

Criterios para la Elaboración de Diagramas P&ID

Entre los principales criterios para elaborar P&ID se encuentran:

- Estándares gráficos: Uso obligatorio de símbolos normalizados por la norma ISA-5.1.
- Codificación coherente: Uso sistemático de etiquetas únicas y lógicas.
- Claridad visual: Distribución clara del flujo del proceso, sin cruces innecesarios ni ambigüedades.
- Referencias cruzadas: Integración con otros documentos (planos eléctricos, listas de instrumentos, hojas de datos).
- Gestión documental: Versión controlada, trazabilidad de revisiones y responsables del diseño.
- Un buen P&ID es una herramienta activa que acompaña al proyecto desde el diseño hasta la operación y el mantenimiento. (International Society of Automation, 2009)

Software para Realizar Diagramas P&ID

Para facilitar la elaboración profesional de P&ID, existen varias herramientas de software especializadas. Algunas de las más utilizadas en la industria son:

- AutoCAD P&ID: Facilita la creación de diagramas inteligentes con bibliotecas de símbolos y conectividad con bases de datos.
- AVEVA Diagrams (antes SmartPlant): Permite integrarse con modelos 3D y sistemas de

gestión de proyectos.

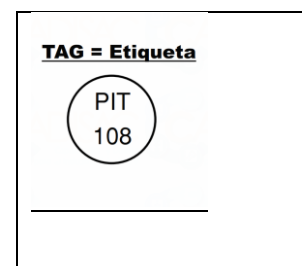
- SolidWorks Electrical / P&ID: Útil para proyectos integrales de ingeniería.
- Lucidchart, Draw.io y DIA: Herramientas más ligeras y didácticas, ideales para prácticas académicas.

Ejercicios resueltos

1. El instrumento comercial de la imagen es un transmisor de presión con pantalla de visualización para la misma variable, está ubicado dentro del lazo de control 108. Situado en campo de forma visible, no se monta en panel, gabinete ni consola, y es normalmente accesible para el operador. Represente el TAG del instrumento en la Figura 26.

Figura 26

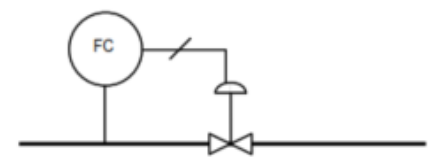
Ejercicio 1: TAG del instrumento



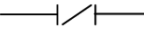
2. Realice la lectura del instrumento mostrado en la Figura 27, plano P&ID.

Figura 27

Ejercicio 2: plano P&ID



En el esquema de la Figura, según el tag number “FC”, es un Controlador de Flujo o Caudal, sin número de lazo determinado; ubicado en campo, no se monta en panel, gabinete ni consola, se encuentra visible en campo y es normalmente accesible para el operador. Envía su señal no identificada a un actuador genérico de válvula solenoide On -Off de 2 vías.

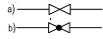
3. ¿Qué tipo de válvula representa el siguiente símbolo:  con un disco en el medio?

Respuesta: Válvula de mariposa.

4. ¿Cómo se diferencia gráficamente una válvula de mariposa de una válvula de bola?

Respuesta: La válvula de mariposa se representa con una línea cruzada dentro de un círculo, mientras que la válvula de bola se representa con un círculo con dos líneas paralelas cortas horizontales.

5. ¿Qué símbolo representa una válvula de compuerta?

Respuesta: Dos triángulos opuestos con la punta tocándose (similar a un rombo dividido por la mitad horizontalmente) .

6. Si un símbolo muestra una válvula de tres vías con flechas indicando el flujo, ¿qué función cumple en el sistema?

Respuesta: Dirigir el flujo entre tres posibles trayectorias, dependiendo de la posición de la válvula.

7. ¿Cuál es la función principal de una válvula de alivio con resorte en un sistema?

Respuesta: Liberar presión automáticamente cuando ésta supera un valor preestablecido.

8. ¿Qué diferencias de funcionamiento existen entre un actuador de resorte y uno solenoide?

Respuesta: El de resorte actúa por fuerza mecánica y se restablece solo, mientras que el solenoide depende de corriente eléctrica y puede ser de reinicio manual o automático.

9. En un diagrama P&ID aparece una válvula con actuador eléctrico y una línea de control desde un sensor de presión. ¿Qué tipo de control puede estar representando este símbolo?

Respuesta: Control automático de presión mediante actuador eléctrico.

10. ¿Cómo se puede distinguir en el diagrama si una válvula de seguridad está pilotada o directamente accionada por resorte?

Respuesta: Si tiene una línea adicional hacia un punto de detección o un símbolo de piloto, es pilotada. Si solo muestra resorte o peso, es directamente accionada.

Ejercicios propuestos

1. Realice en la Tabla 22 la identificación de los siguientes instrumentos:

Tabla 22

Ejercicio: Identificación de instrumentos

TE:	LSHH:
PSV:	LSL:
PSE:	FRC:
FSV:	PIT:
LSH:	LSHH:
LSLL:	L:
LG:	VSH:

HV:	ZXI:
FY:	LCV:
AIT:	PDIT:
TW:	LIC:
FCV:	FQI:
AIC:	PI:
TDIT:	HS:

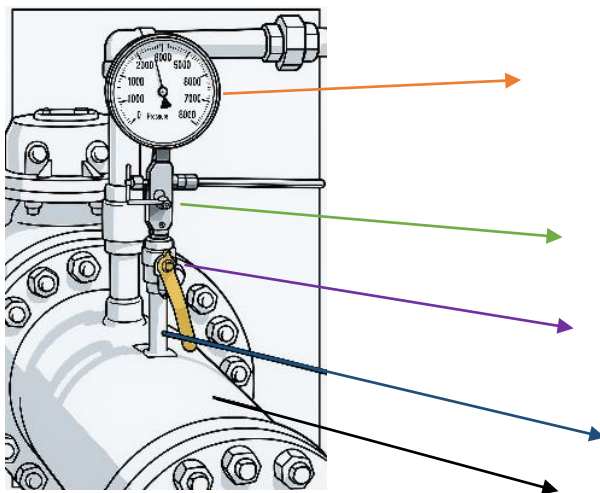
2. Indique las etiquetas (TAG) de los siguientes instrumentos:

- 1) Registrador de temperatura:
- 2) Alarma de bajo flujo:
- 3) Válvula de control de presión:
- 4) Elemento primario de flujo:
- 5) Transmisor e indicador de nivel:

3. Realiza el diagrama PI&D en función de la Figura 28, considera la Norma ISA para representar las líneas de tubería de proceso, válvulas e instrumentos de medición.

Figura 28

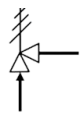
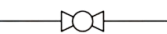
Ejercicio 3: diagrama PI&D



6. Relacione los siguientes nombres con los símbolos o dibujos mostrados, dada la Tabla 23 escriba en el espacio vacío, los números de las figuras según el nombre al que corresponde.

Tabla 23

Ejercicio: Relacione de nombres con símbolos o dibujos mostrados

 FIGURA 1  FIGURA 2  FIGURA 3  FIGURA 4  FIGURA 5  FIGURA 6  FIGURA 7		Línea neumática.
		Válvula de seguridad.
		Función en sistema de control por PLC accesible al operador
		Válvula de globo.
		Instrumento discreto con ubicación auxiliar.
		Señal eléctrica o electrónica
		Señal sónica o electromagnética.
		Válvula de bola.
		Tubo capilar.
		Actuador neumático de diafragma.
		Función en panel principal visualizado en pantalla accesible al operador.

Referencias Bibliográficas

- Al-Mahasneh, A. J. (s. f.). *Pneumatics and Hydraulics*.
https://www.philadelphia.edu.jo/academics/amahasneh/uploads/10th_lecture_sensors_transducers_pneumatic_final.pdf
- Bentley Systems. (2020). *Instrument & Wiring Diagrams: Best Practices Guide*. Bentley.
<https://www.bentley.com>
- Bolton, W. (2013). *Mecatrónica. Sistemas de Control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (Quinta edición). Alfaomega. <https://jvasconcellos.com.br/wp-content/uploads/2020/06/Mecatronica.pdf>
- Bonet, J. (2010). *Instrumentación Industrial*. Marcombo.
- Boylestad, R., & Nashelsky, L. (2013). *Electrónica: Teoría de Circuitos*. Pearson.
- Brizuela, F. (2010). *2—Principios de Transducción*. Pdfcoffee.Com. <https://pdfcoffee.com/2-principios-de-transduccion-3-pdf-free.html>
- Carballo Sierra, J., & Romero Lara, D. (2011). *TUTORIAL NORMA ISA S5.1 Y DIAGRAMAS P&ID* [Universidad Tecnológica de Bolívar]. <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062398.pdf>
- Creus Solé, A. (2011). *Instrumentación industrial* (Octava edición). Marcombo.
<https://books.google.co.ve/books?id=RnMBQ-E6JK4C&printsec=copyright#v=onepage&q&f=false>
- Franco, S. (2015). *Diseño con Amplificadores Operacionales*. McGraw-Hill.
- Frank, R. (2017). *¿Qué es un transductor y en qué se diferencian los sensores?*
<https://www.sensortips.com/featured/is-it-a-sensor-or-a-transducer/>
- GaugeHow. (s. f.). Static characteristics. *GaugeHow Mechanical Engineering*. Recuperado 29 de julio de 2025, de <https://gaugehow.com/lesson/static-characteristics/>
- Gutiérrez, M., & Iturralde, S. (2017). Fundamentos Básicos de Instrumentación y Control. En *Portal de libros Editorial UPSE* (Primera Edición). Editorial UPSE.
<https://incyt.upse.edu.ec/libros/index.php/upse/catalog/view/2/6/124-1>
- Harris, M. (2020, septiembre 15). *An Introduction to Wheatstone Bridge Circuits and Differential Amplifiers*. Altium. <https://resources.altium.com/p/wheatstone-bridges>

- Horowitz, P., & Hill, W. (2015). *The Art of Electronics*. Cambridge University Press.
- International Society of Automation. (2009). *Instrumentation Symbols and Identification*.
https://integrated.cc/cse/Instrumentation_Symbols_and_Identification.pdf
- International Society of Automation. (2020). *Standards for Automation—ISA*. Isa.Org.
<https://www.isa.org/standards-and-publications/isa-standards>
- Liptak, B. G. (2006). *Instrument Engineers' Handbook, Volume Two: Process Control and Optimization* (Cuarta Edición). CRC Press.
<https://nivelco.com.ua/documents/technical%20publications%20docs/Instrument%20Engineers%20Handbook%2C%20Volume%202%20Process%20Control%20and%20Optimization%2C%20Fourth%20Edition%20%28Volume%202%29.pdf>
- Malvino, A. (2016). *Principios de Electrónica*. McGraw-Hill.
- Mayné, J. (2003). *Acondicionamiento de sensores—Sensores Acondicionadores y Procesadores de señal*. Silica an Avnet Division. <https://www.studocu.com/co/document/unidades-tecnologicas-de-santander/electronica-industrial/acondicionamiento-de-sensores/50032938>
- Morales Sánchez, A. (2007). *Instrumentacion Basica de Procesos Industriales | PDF | Medición | Calibración*. ISA. <https://es.scribd.com/doc/144899017/Instrumentacion-Basica-de-Procesos-Industriales>
- Mosaic Industries. (s. f.). *Precision Measurement Without Ground Offsets*. Mosaic Documentation Web. Recuperado 20 de agosto de 2025, de https://www.mosaic-industries.com/embedded-systems/microcontroller-projects/measurement-techniques/instrumentation-amplifier-ground-loop-isolator?utm_source=chatgpt.com
- Olmo, M., & Nave, R. (s. f.). *Op-amp Varieties*. Hyperphysics. Recuperado 20 de agosto de 2025, de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Electronic/opampvar6.html>
- Pérez García, M. Á. (2004). *Instrumentación Electrónica: Transductores y Acondicionadores de Señal*. Thomson.
- Rao, J. M. (2023). *Sensors and Transducers Classification*. *Inst Tools*.
<https://instrumentationtools.com/sensors-and-transducers-classification/>

Renkeer. (2025). Tipos de sensores de pH y electrodos de pH Elija. *Renke*.

<https://www.renkeer.com/ph-sensor-types/>

Sedra, A., & Smith, K. (2014). *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press.

URANY. (2022). *¿Qué son los transductores?* Urany®. <https://urany.net/blog/qué-son-los-transductores>



ISBN: 978-9942-686-86-2



SUCREInstitutooficial



@SUCREInstituto



@SUCREInstituto