



En Formación Continua  
Educación Técnico Profesional

**inet** | Instituto Nacional de  
Educación Tecnológica

 **Ministerio de Educación  
Presidencia de la Nación**



**Presidencia de la Nación**

## Principios de la automatización

### 1. ¿Qué es un automatismo?

A pesar de que en principio se puede pensar que los automatismos solo están destinados a los procesos industriales la realidad es que los mismos nos rodean inadvertidamente. Por ejemplo, en una heladera hogareña: Existe un sensor de temperatura que detecta el aumento de la misma y cuando se alcanza cierto nivel el control que se ubica en su interior (el que todos regulamos ) acciona el relé que pone en marcha el compresor de manera de refrigerar el contenido. No obstante el alcance de este curso estará orientado a las aplicaciones industriales de los automatismos.

En consecuencia para responder a la pregunta inicial es necesario pensar que los procesos físicos y/o químicos involucrados en la producción de materias primas y/o productos terminados no difieren si mi proceso productivo está automatizado o no (para torneear una pieza se requiere de una herramienta de corte y un torno, pero este podrá ser manual o CNC), en consecuencia podemos definir como automatismo a: “todo dispositivo físico y/o lógico que realiza las funciones de mando y control de una máquina o proceso”.

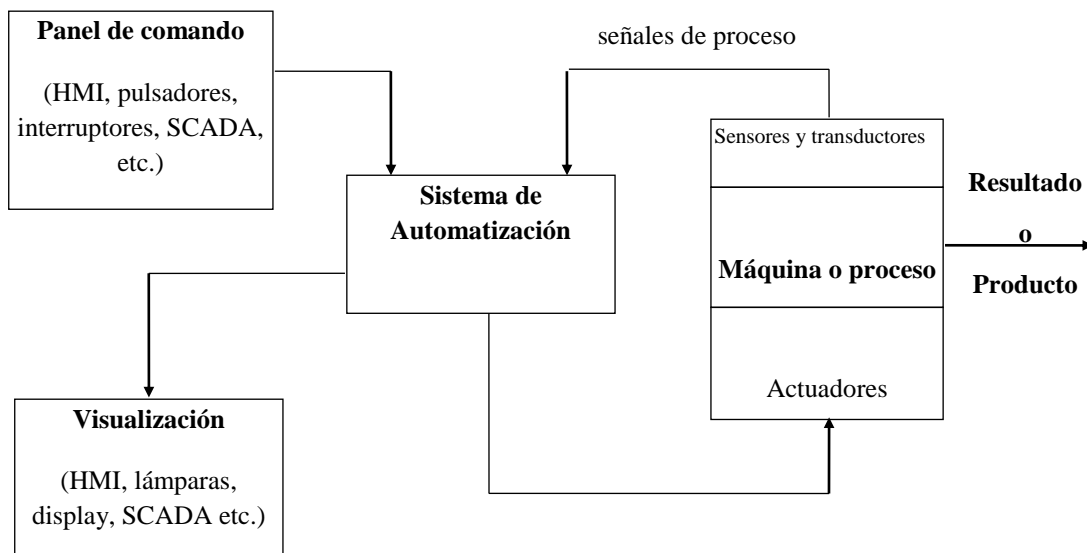
Mando porque el sistema de automatización será el encargado de ordenar las acciones que deba ejecutar la máquina o proceso para obtener el resultado buscado (que podrá ser un producto o una acción determinada)

Control porque las acciones ordenadas por el sistema de automatización no pueden ser ejecutadas en forma anárquica, sino que deberán seguir un orden lógico y además las variables involucradas en el proceso deben ser mantenidas dentro de límites perfectamente establecidos, de forma que en todo momento se puedan garantizar condiciones mínimas de calidad, eficiencia y seguridad.

En consecuencia, para que el proceso se pueda ejecutar de la forma más eficiente posible, deberá existir necesariamente un intercambio de información entre el dispositivo de comando y la máquina o proceso.

Así es como entonces se introduce el concepto de bucle o lazo. El automatismo no sólo enviará órdenes para que los distintos actuadores ejecuten sus acciones, sino que recibirá información de la máquina o proceso comandado. Estas informaciones (que se obtendrán de los sensores y transductores presentes en el proceso) permitirán que el equipo de control tome las decisiones necesarias para ejecutar la lógica inherente al proceso a controlar, emitir alarmas vinculadas a valores de proceso, verificar enclavamientos, condiciones de seguridad, etc.

En un esquema simplificado:



### 1.1. Procesos continuos y procesos por lotes

A la hora de clasificar los procesos una de las formas es dividirlos en función del tratamiento que tienen los productos a lo largo del mismo, es así que se suele hablar de procesos continuos o por lotes.

**Procesos continuos:** en un proceso continuo, como su nombre indica, hay un flujo continuo de entrada de las materias primas y un flujo continuo de salida de producto finalizado. El proceso sólo se detiene ante la falta de flujo de ingreso.

**Proceso por lotes:** en un proceso por lotes, las materias primas se cargan en el sistema ya sea al inicio, o bien a lo largo del procesamiento, pero en algún momento el flujo de entrada se detiene y el proceso sigue su curso hasta que se logra el producto terminado. En definitiva el proceso no requiere como el caso anterior un flujo continuo de alimentación.

Para dar un ejemplo pensemos en el proceso del acero:

- 1) Para obtener una determinada calidad de acero se colocan los componentes de la aleación en un horno en cantidades definidas y en tiempos definidos, finalmente se analiza el producto y el proceso se detiene cuando la aleación tiene la composición deseada. Este proceso claramente es un **proceso por lotes**.
- 2) El acero fundido se vuelca luego en un sistema de colada continua del cual surge un producto como la palanquilla, este proceso erogará palanquilla en

tanto y en cuanto se sigue alimentando el recipiente de entrada al sistema.  
Claramente este proceso es un ***proceso continuo***.

## 2. ¿Por qué automatizar un proceso en base a sistemas programables?

A la hora de construir una solución para un automatismo existen básicamente dos alternativas, lógica cableada o lógica programada, cada una de ellas con ventajas e inconvenientes, si bien existe una tendencia creciente hacia la utilización de la lógica programada debido a la reducción de los costos de los equipos y a una cada vez mayor simplificación en la programación de los mismos.

Se entiende por supuesto que cuando se habla de lógica nos estamos refiriendo a las secuencias y ordenamientos de las acciones del proceso que son necesarios para obtener el resultado buscado, en consecuencia al referirnos a la “lógica cableada” o a la “lógica programada” simplemente estamos tratando de significar la forma en que se consigue el ordenamiento y secuencia antedichos ( el bloque “sistema de automatización” de la figura anterior ), es obvio por supuesto que los sensores, transductores, actuadores e interfaces estarán presentes en ambos casos (eventualmente con variaciones según lo requieran los equipos utilizados )

### -Lógica cableada

En la lógica cableada el automatismo se obtiene por medio de la utilización de componentes independientes adecuadamente interconectados ( de ahí el nombre de lógica cableada ), de forma que a través de dicha conexión quede configurada la lógica de funcionamiento del automatismo

### - Lógica programada

En la lógica programada el automatismo se obtiene por medio de la utilización de controladores programables ( PLC's ) o bien con PC's dotadas de placas de señales adecuadas y la lógica de funcionamiento se obtiene a través de programación dentro del PLC o PC ( no existen conexiones o contactos físicos )

En definitiva la automatización basada en soluciones de lógica programada, ya sea de la fábrica completa o solo de algunos procesos, trae aparejada una serie de ventajas que se pueden resumir en las siguientes consideraciones:

#### ► Menor Mantenimiento

Los sistemas programables basan su funcionamiento en un “programa” adecuado que representa el algoritmo o lógica de control, este algoritmo de control se construye sobre la base de elementos virtuales (rutinas de programa, lógicas booleanas, etc.), en los cuales no intervienen elementos físicos tales como relés auxiliares, llaves, etc., por lo que el posible deterioro consecuencia del uso es prácticamente inexistente, esto hace que las tareas de mantenimiento se reduzcan sensiblemente respecto de sistemas convencionales.

### ► Mayor Confiabilidad y Calidad

Como consecuencia de lo antedicho el sistema se vuelve inherentemente más confiable ya que lo que suele generar fallas en el sistema son los elementos físicos que aquí se ven sensiblemente reducidos, por otro lado al no depender el mantenimiento de los valores de las variables de la decisión del operador los valores de las mismas no solo se ajustan más estrechamente a los valores especificados sino que se mejora la repetibilidad, es decir mejora la exactitud y la precisión del proceso productivo, conceptos importantes vinculados a la calidad de producto.

### ► Menor tiempo de ejecución y puesta en marcha

Al reducirse la cantidad de elementos involucrados en la automatización, los tiempos de cableado de los tableros de control se reducen notablemente y como además gran parte de los programas de control se pueden elaborar previamente (incluso simulando las condiciones del proceso en una PC) el tiempo que se debe dedicar al ajuste necesario en la puesta en marcha también disminuye, y en definitiva el tiempo necesario desde el inicio hasta la finalización del proyecto de automatización resulta siempre menor que con una solución tradicional.

### ► Flexibilidad ante los cambios

Las modificaciones de las condiciones del proceso no requiere dificultosas alteraciones en la estructura de “Hardware” de la máquina sino, en muchos casos, un simple cambio en la programación, por lo que se reducen los tiempos y costos involucrados en los cambios de producto.

### ► Reducción de tiempos muertos

Como resulta obvio las reducciones del mantenimiento, la mayor confiabilidad y la flexibilidad de los sistemas automatizados reducen los tiempos muertos, con lo que se mejora la ecuación de costos de la empresa.

### ► Reducción del “scrap”

Como consecuencia directa del mejoramiento de las condiciones generales del proceso se genera un mayor aprovechamiento de las materias primas con la consecuente reducción de pérdidas innecesarias de las mismas y una sustancial disminución de productos “no conforme”.

**EN DEFINITIVA.....**

### ► Reducción de costos

## Nota:

Independientemente de cual sea el tipo de lógica utilizada es necesario resaltar que el hecho de automatizar una máquina o proceso tiene como límites de rendimiento y/o calidad los propios límites físicos de dicha máquina o proceso, es decir la automatización facilitará y/o mejorará el proceso hasta dichos límites, por lo cual no es infrecuente que al encarar un proyecto de automatización sea necesario evaluar si es conveniente la reingeniería de la máquina o proceso en función de lograr un mayor aprovechamiento del equipo existente, esto por supuesto de que además será necesario en la mayoría de los casos el agregado de elementos adicionales, como fines de carrera, sensores magnéticos, etc., que me proporcionen señales necesarias para el control del proceso.

### 3. ¿Qué maneras de automatizar existen?

Resulta evidente en función que determinar la forma en que se controlará un cierto proceso resulta una cuestión compleja, con una gran cantidad de variables involucradas y con consecuencias sobre los costos de la instalación y la complejidad de operación de la misma. Es en función de esto que se definirá las características del equipamiento a utilizar, el cual en una lista simplificada podría dividirse de la siguiente manera:

#### 3.1 - Control manual:

El operador actúa sobre algún elemento de control (válvula, potenciómetro, dâmpner, etc.) que regula la o las variables del proceso; en razón de las inexactitudes y posibilidades de errores humanos involucrados, este sistema esta limitado a pequeñas aplicaciones y no resulta de interés para el desarrollo de nuestra asignatura.

#### 3.2 - Control manual - asistido:

En este sistema aparecen los controladores analógicos y/o digitales los cuales me permiten fijar ( *setear o parametrizar* ) ciertos parámetros funcionales de los mismos como las constantes de proporcionalidad, integral y derivativa, banda muerta, retardo de actuación ( *lagtime* ),etc., y el valor ideal de la variable controlada ( *setpoint* ), momento a partir del cual el controlador toma el control y regula la variable manipulada para mantener la controlada dentro de los límites especificados, en este tipo de control el operador solo ajusta el *setpoint* en función de las necesidades del proceso, y cada controlador en principio regula una sola variable y no es posible considerar la interrelación que pueda esta tener con otras, las cuales deberán ser modificadas individualmente por el operador.



En este sistema cabe también incorporar los sistemas de lógicas discretas, donde el operador emite una orden y existe un sistema que verifica que se cumplan las condiciones (enclavamientos operativos y de seguridad ) para que se produzca la actuación de contactores, interruptores, relés, etc., este sistema podrá ser obtenido a través de componentes discretos ( transistores, compuertas, etc.) o bien con lógicas programables ( PLC o microprocesadores ).

La ventaja, respecto del sistema puramente manual, radica en el hecho que se elimina la posibilidad de errores, propios de la atención constante por parte del operador que se requiere con el sistema anterior; no obstante el sistema todavía requiere de un grado elevado de participación por parte del operador, ya que una modificación de los parámetros de trabajo del proceso requiere una recalibración manual de cada controlador, por otro lado la lógica de enclavamientos y alarmas al no estar integrada puede resultar muy complicada si la cantidad de variables controlada es alta.

### **3.3 - Control automático:**

En este tipo de control las características del proceso se encuentran integradas dentro del sistema de control, tanto para las variables y la relación que guardan entre ellas, como para la lógica de enclavamientos y alarmas, en estos sistemas la intervención del operador es mínima y se limita a que el mismo ajuste los valores que quiere obtener del proceso, siendo el propio sistema el que regula los parámetros funcionales para obtener el resultado deseado, al mismo tiempo y según el grado de complejidad del sistema, este podrá comunicarse con redes de gestión y administración, con lo cual se tendrá información en tiempo real sobre el proceso, con fines estadísticos, de control de producción, de gestión de calidad, etc. Esta capacidad de comunicación no solo se utiliza en los niveles de gestión, sino que también me permite comunicarme entre elementos propios del sistema de control, esto hace a los mismos extremadamente flexibles y potentes, permitiendo subdividir el proceso a controlar entre diversos elementos, de forma tal que cada uno de ellos maneja una parte pequeña del proceso, lo cual simplifica la programación del sistema, esto nos acerca al concepto de lo que habitualmente se conoce como control distribuido, en el cual cada elemento posee cierta “inteligencia” y se encarga de comunicar al resto sus condiciones de funcionamiento.

Dada la gran cantidad de posibles soluciones para elaborar este tipo de controles, resulta muy difícil definirlos dentro de tipos fijos, no obstante, la tendencia actual indica que los elementos mas utilizados son los PLC y/o las PC; los PLC por su probada confiabilidad, tamaño reducido y comprobada resistencia a los ambientes industriales, y las PC en combinación con placas y programas adecuados, por su gran capacidad de procesamiento, interfases gráficas de usuario muy flexibles y



bajo costo relativo; en función de esto podríamos intentar una clasificación limitada pero útil:

#### ♦ PLC solamente

En estos sistemas existirán uno o varios PLC, que se encargan de las tareas de control del proceso, siendo este relativamente simple, requiriendo poca interacción con el operador, la que estará generalmente confiada a elementos relativamente simples, como pulsadores, teclados numéricos, potenciómetros, llaves BCD, etc.

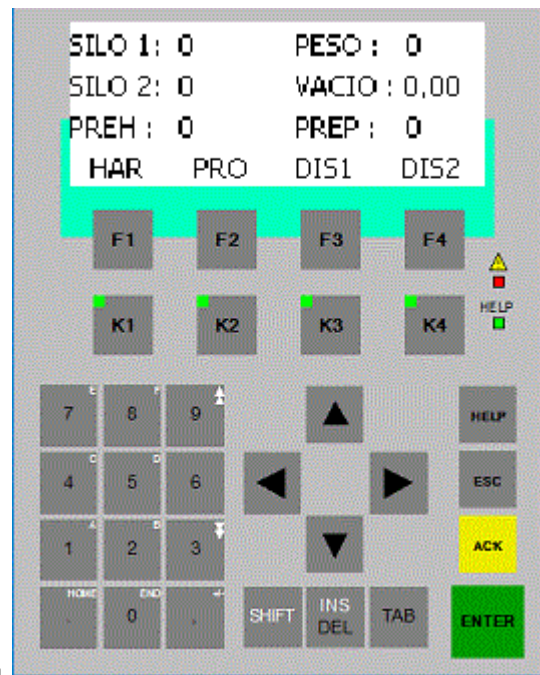
#### ♦ PLC con panel de operador

Los paneles de operador son elementos que facilitan el acceso visual del operador al sistema de automatización, el panel está constituido por un teclado, numérico o alfanumérico ( eventualmente configurable por el usuario), una pantalla, la que podrá ser de solo texto o gráfica ( monocroma ó color ), CPU, puerto(s) de comunicación y eventualmente ranuras de expansión.

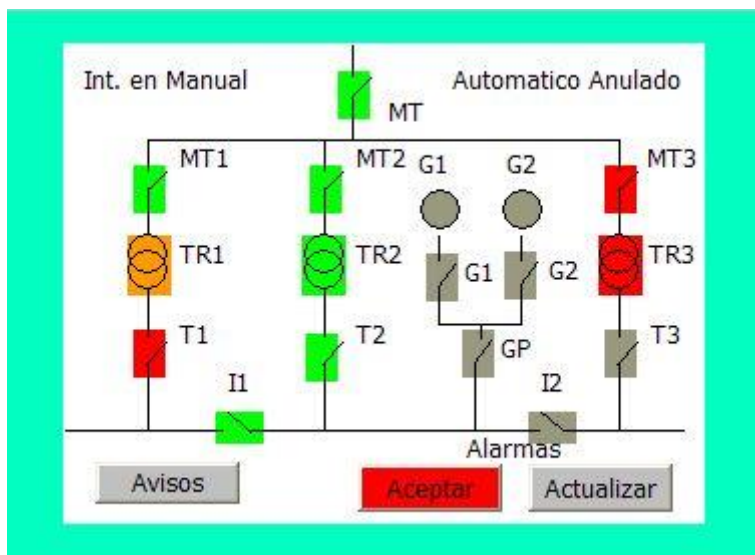
Este tipo de elemento constituye un avance importante en la interfaz “Hombre – Máquina”, ya que me permiten:

- Acceso rápido y sencillo a los datos del proceso
- Supervisión y control del proceso
- Visualización del proceso ( solo paneles gráficos)
- Modificación de parámetros y ordenes al sistema

Es decir, aquí el operador obtiene un grado de control mayor sobre el proceso, ya que tiene información sobre el mismo en tiempo real y puede modificar a voluntad el mismo para conseguir un funcionamiento optimo, asimismo a través del mismo puede eventualmente conocer el estado de operación del sistema ( marcha, parada,



alarma, etc.) y actuar en consecuencia.  
Panel de operador simple solo texto



Panel de operador táctil  
con capacidad gráfica

#### ◆ PC con placas de adquisición

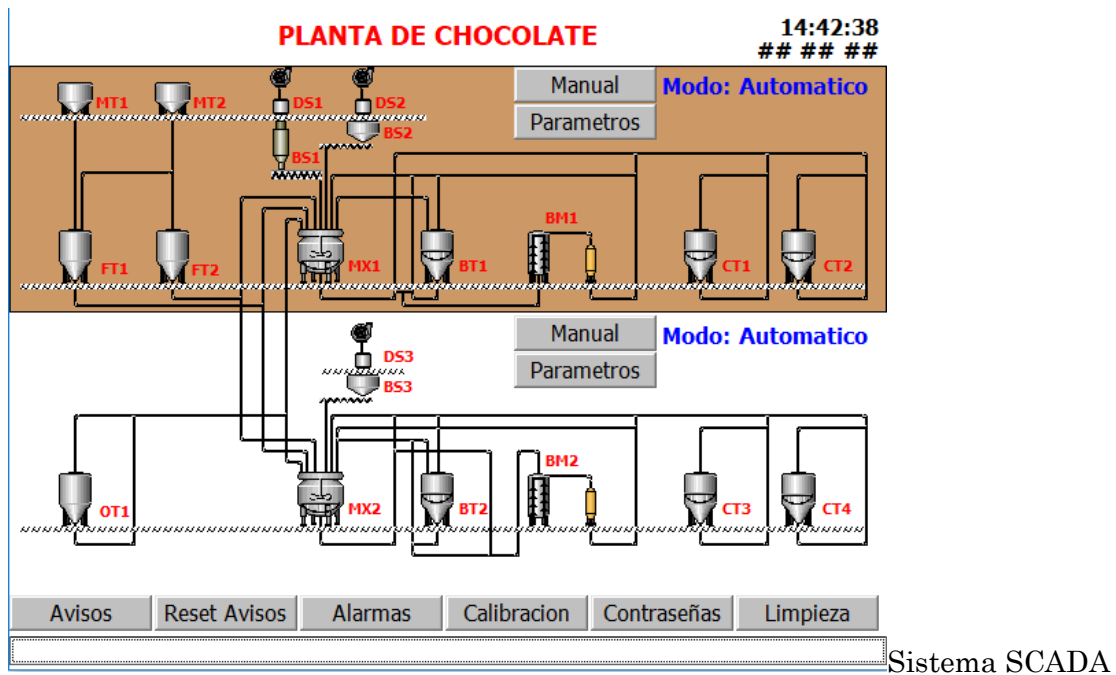
Este método está asociado a los llamados sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), en el cual las placas convierten señales externas (analógicas y/o digitales) en valores manejables (tags) para el programa SCADA propiamente dicho, el cual se encarga de tomar decisiones en función de algoritmos previamente programados acordes con el proceso a controlar, enviando luego a través de la misma u otra placa señales de salida que manejen variables adecuadas del proceso.

Este método de control es extremadamente versátil, ya que no es estrictamente necesario que las placas estén ubicadas en una misma PC, sino que lo que normalmente sucede es que se posee una PC Maestra (MTU, por Master Terminal Unit) y varias terminales remotas (RTU, por Remote Terminal Unit), las que incorporan sus placas de adquisición, comunicándose con la terminal maestra a través de redes alámbricas o inalámbricas, siendo esta última (la terminal maestra) la que toma las decisiones y las transmite a las remotas para modificar las condiciones del proceso.

Como inconvenientes podemos citar que en el caso de ambientes industriales, el costo resulta elevado debido al tipo de terminales que se necesitan (resistentes a los ambientes agresivos), por otro lado la confiabilidad de funcionamiento de las PC no es tan alta como la de un PLC y habrá que prever en consecuencia que si la PC se “cuelga”, no exista el peligro de perder el control del proceso con riesgo de daños para personas o equipos.

#### ♦ PLC interconectado con PC

En este método se colocan PLC's vinculados a los elementos de campo (ambiente industrial), el PLC tiene su programa autónomo que regula la parte del proceso que le corresponde, intercambiando los datos con la PC que actúa como integrador de todo el conjunto, recorriendo un ciclo de lectura de los valores enviados por los PLC, tomando las decisiones necesarias y enviando los nuevos valores de proceso a los PLC, es en esta PC donde el operador interactúa con el proceso, cambiando las condiciones de acuerdo a las necesidades; la ventaja respecto del sistema anterior es que se utilizan elementos extremadamente confiables, como los PLC, para las tareas de campo, y como normalmente este se programa para cumplir su tarea aun desconectado de la PC no se pierde totalmente el control del proceso (en todo caso este sigue con la última condición fijada, sistema "*stand – alone*"). Estos sistemas utilizan programas SCADA para el control, otro nombre con el que se los conoce también es el de "Sistemas de Control Distribuido".



para control de planta

## 4. Sensores y actuadores

### INTRODUCCION

En todo proceso de automatización es necesario captar las magnitudes de planta, para poder así saber el estado del proceso que estamos controlando. Para ello empleamos los sensores o transductores, términos que se suelen emplear como sinónimos aunque el transductor engloba algo más amplio.

Se puede definir un transductor como un dispositivo que convierte el valor de una magnitud física en una señal eléctrica codificada, ya sea en forma analógica o digital. No todos los transductores tienen por qué dar una salida en forma de señal eléctrica (ej. un termómetro), pero para aplicaciones industriales como las que nos ocupan suele ser lo más frecuente.

#### 4.1 - ESTRUCTURA

Si nos limitamos a los transductores que se emplean para conectar a sistemas de automatización como los que nos ocupan ( PLC, PC con placas de adquisición, etc. ), a través de las interfaces adecuadas, podemos distinguir las siguientes partes que los componen:

- ▶ Elemento sensor o captador. Convierte las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica (señal).
- ▶ Tratamiento de la señal. Si existe, realiza la función de modificar la señal obtenida para obtener una señal adecuada (filtrado, amplificación, etc).
- ▶ Etapa de salida. Comprende los circuitos necesarios para poder adaptar la señal al nivel requerido para la carga exterior.

#### 4.2 - CLASIFICACION

##### - Según el tipo de señal de salida

Es decir según la forma de codificar la magnitud medida, podemos realizar la siguiente clasificación:

- ▶ Analógicos: aquellos que proporcionan un valor de tensión o corriente entre un rango previamente fijado (normalmente 0-10 V, 0-5 v o 4-20 mA). Es decir que ante una variación de la variable de entrada dentro de los límites de medida del mismo, la salida entrega una señal eléctrica dentro del rango antedicho

- ▶ Digitales: aquellos que proporcionan una señal codificada en pulsos o en alguna codificación digital (como BCD, binario, etc).
- ▶ Todo-nada: aquellos que únicamente poseen dos estados, los cuales están separados por un valor umbral de la variable detectada.

#### - Según el tipo de magnitud física a detectar

- ▶ Posición lineal o angular.
- ▶ Desplazamiento o deformación.
- ▶ Velocidad lineal o angular.
- ▶ Aceleración.
- ▶ Fuerza y par.
- ▶ Presión.
- ▶ Caudal.
- ▶ Temperatura.
- ▶ Presencia o proximidad.
- ▶ Táctiles.
- ▶ Intensidad lumínica.
- ▶ Sistemas de visión artificial.

Otro tipo de clasificación es diferenciar entre sensores activos o pasivos. Los sensores pasivos requieren de una alimentación para efectuar su función, mientras que los activos generan la señal sin necesidad de alimentación externa.

### 4.3 - CARACTERÍSTICAS

Se pueden agrupar en dos grandes bloques:

#### - Características estáticas

Describen la actuación del sensor en régimen permanente o con cambios muy lentos de la variable a medir:

- ▶ Campo de medida: rango de valores de la magnitud de entrada.
- ▶ Resolución: es la mínima medida que el sensor es capaz de discernir.

- ▶ **Exactitud:** es la máxima desviación entre el valor real proporcionado y el teórico según un patrón definido.
- ▶ **Repetibilidad:** es la máxima desviación entre valores de salida al medir un mismo valor de entrada con el mismo sensor.
- ▶ **Alinealidad:** máxima desviación entre la respuesta real y la puramente lineal.
- ▶ **Sensibilidad:** indica la variación de salida por unidad de magnitud de entrada.
- ▶ **Ruido:** aquel propio del transductor que produce una desviación de la salida con respecto al valor teórico.
- ▶ **Histéresis:** dependencia de la medida a si esta se realiza con crecimiento o disminución de la misma.

#### - Características dinámicas

Describen la actuación del sensor en régimen transitorio:

- ▶ **Velocidad de respuesta:** tiempos que se producen entre la medida tomada y la señal de salida.
- ▶ **Respuesta en frecuencia:** relación entre la sensibilidad y la frecuencia de la señal de entrada.
- ▶ **Estabilidad y deriva:** desviación de la salida respecto a condiciones medioambientales ( temperatura, humedad, etc. ).

#### 4.4 – TABLA RESUMEN DE TRANSDUCTORES

Magnitud detectada	Transductor	Características
Posición lineal o angular	Potenciómetro	Analógico
	Encoders	Digital
	Sincro y resolver	Analógico
Desplazamiento o	Transformador diferencial	Analógico



deformación	Galga extensiométrica	Analógico
Velocidad lineal o angular	Dinamo taquimétrica Encoders Detector inductivo u óptico	Analógico Digital Digital
Aceleración	Acelerómetro Sensor de velocidad + calculador	Analógico Digital
Fuerza y par	Medición indirecta por galgas o trafos diferenciales	Analógicos
Presión	Membrana + detector desplazamiento Piezoeléctrico	Analógico Analógico
Caudal	De turbina Magnético	Analógico Analógico
Temperatura	Termopar Resistencias PT100 Resistencias NTC Resistencias PTC Bimetálicos	Analógico Analógico Analógico Analógico Todo-nada
Presencia o proximidad	Inductivo Capacitivo Optico Ultrasónico	Todo-nada/analógico Todo-nada Todo-nada/analógico Analógico
Táctil	Matriz de contactos Piel artificial Matriz capacitiva, piezoeléctrica u óptica	Todo-nada Analógico Todo-nada
Sistemas de visión	Cámaras CCD Cámaras de video y	Procesamiento digital por

artificial	tratamiento de imagen	puntos o pixels
------------	-----------------------	-----------------

## ACTUADORES

### INTRODUCCIÓN

Los actuadores constituyen el otro extremo de la cadena en los sistemas de control, es decir así como los sensores y transductores convierten una magnitud física en una señal eléctrica adecuada para ingresarla en los sistemas de automatización, los actuadores realizan el proceso inverso convirtiendo una señal eléctrica que llega desde el sistema de control en una magnitud física determinada, necesaria para influir sobre las condiciones del proceso controlado.

La magnitud física de salida puede ser básicamente:

- ▶ Mecánica ( fuerza o desplazamiento)
- ▶ Térmica ( calentamiento)
- ▶ Eléctrica ( control de potencia )

### 2.5 CLASIFICACION DE LOS ACTUADORES

#### - Según la forma de la señal de control

- ▶ Todo-nada: aquellos que únicamente poseen dos estados, los cuales están separados por un valor umbral de la señal aplicada.
- ▶ Analógicos: aquellos que proporcionan un valor de salida con variación continua entre un rango previamente fijado . Es decir que ante una variación de la señal de entrada dentro de los limites establecidos para la misma ( generalmente 0-5 v, 0-10 V, 4-20 mA ) la salida entrega un valor proporcional a la misma dentro del rango antedicho.
- ▶ Digitales: aquellos que proporcionan una salida proporcional a una señal codificada en pulsos o en alguna otra codificación digital (BCD, binario, PWM, etc)

- Según el dispositivo primario de control

- ▶ Motorizados
- ▶ Por solenoides
- ▶ Piezoeléctricos
- ▶ Por resistencias eléctricas

- Según la fuente de poder

- ▶ Neumáticos
- ▶ Eléctricos
- ▶ Hidráulicos

Algunos actuadores típicos que se encuentran en las automatizaciones de procesos son por ej:

- Válvulas de control
- Válvulas proporcionales
- Servo-válvulas
- Contactores
- Cilindros lineales y de rotación (hidráulicos o neumáticos)
- Variadores de velocidad