



Ingeniería Informática



AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

CURSO 2022/2023

Tema 1. Introducción a la Automatización Industrial



Tema 1. Introducción

- Arquitectura y componentes.
- Tipos de señales. Tipos de control.
- Lógica cableada - Lógica programada.
- PLC (*Programmable Logic Controller*)





Ingeniería Informática

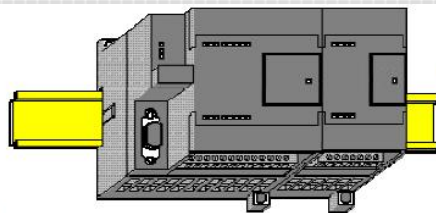


ARQUITECTURA Y COMPONENTES





Arquitectura y Componentes



Sistema de control



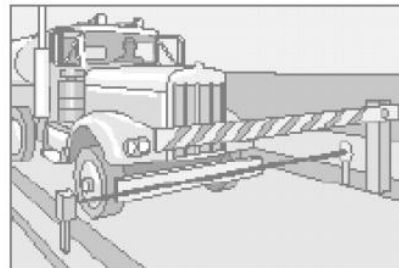
Sist. Interacción y monitorización:

- Botoneras
- SCADA



Parte operativa:

- Accionamientos
- Detectores





Arquitectura y Componentes

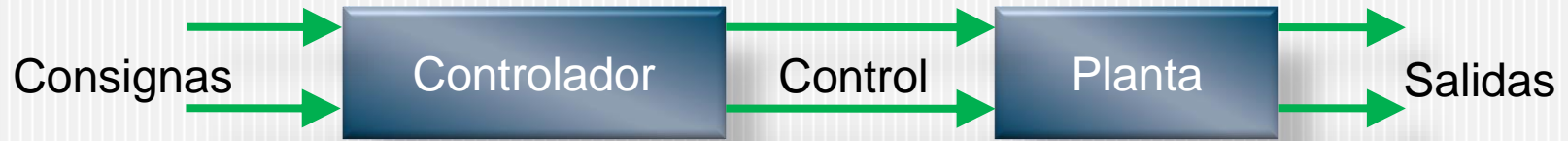
- **Los accionamientos pueden ser:**
 - Eléctricos: electroválvulas, motores, electroimanes, resistencias de calentamiento...
 - Neumáticos (aire comprimido): cilindros y motores.
 - Hidráulicos (liquido, aceite): cilindros y motores.
- **Hay gran variedad de sensores:**
 - Presencia, posición, distancia...
 - Temperatura, presión...
 - Nivel, caudal...
 - Velocidad, aceleración...
- **Los sensores suelen proporcionar señales eléctricas.**





Arquitectura y Componentes

- Se requiere un elemento de control que actúe sobre el proceso o planta: controlador (autómata, PLC, PC embebido, Micro-controlador).
- Al controlador se le dan unas ordenes de mando o consignas.



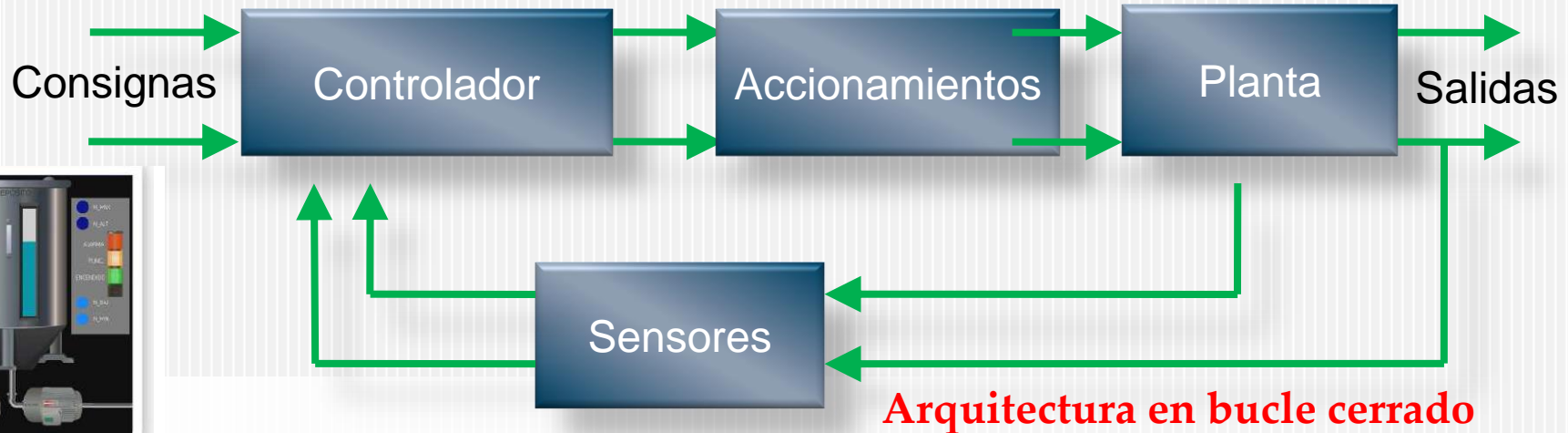
Arquitectura en bucle abierto





Arquitectura y Componentes

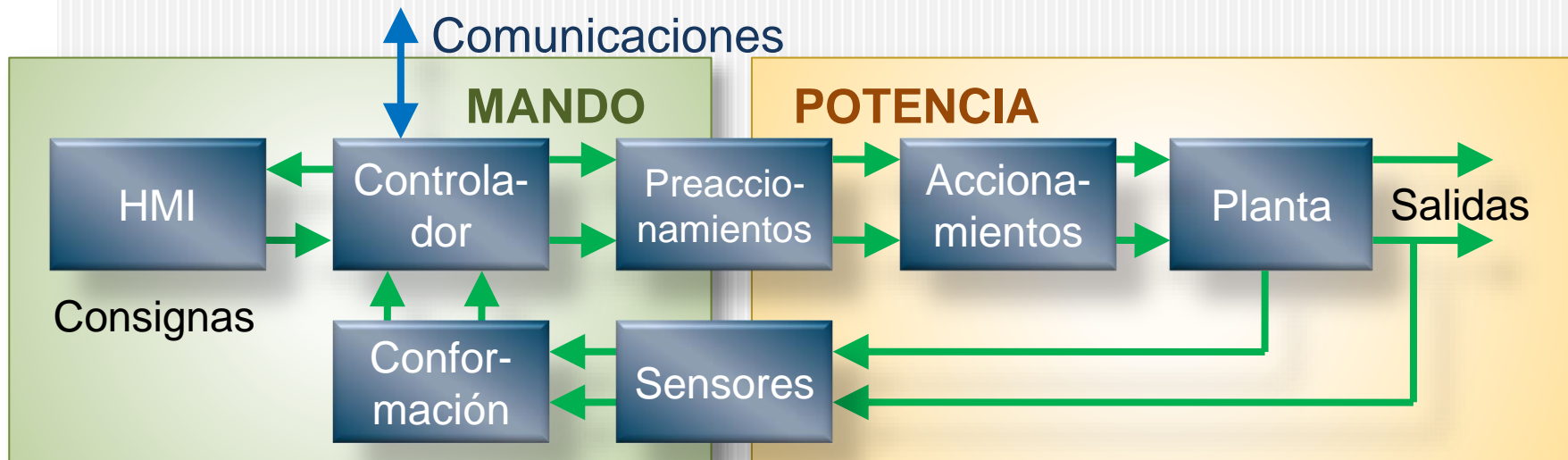
- **Sistema realimentado:** Muchos sistemas requieren que el controlador vigile el estado de la planta o las salidas para conseguir cumplir las consignas.
- Se necesitan accionamientos (o actuadores) para modificar el estado de la planta, y captadores (o sensores) para conocer la evolución de las variables.





Arquitectura y componentes

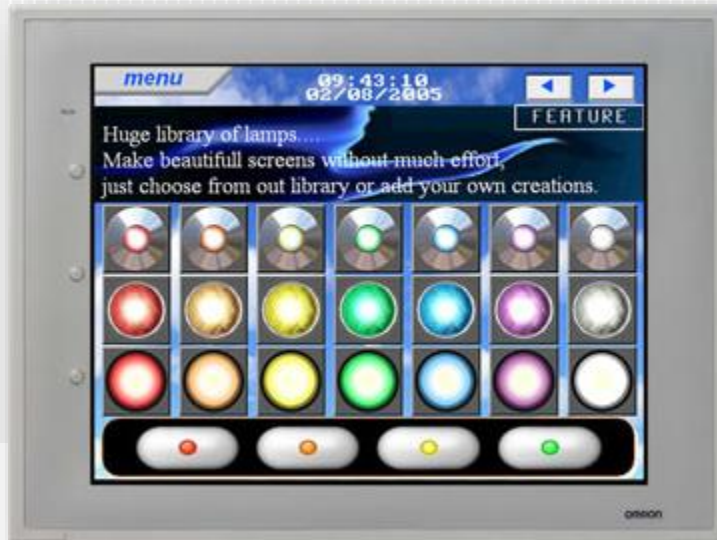
- Interfaces hombre-máquina, comunicaciones, fuentes de energía, controladores de ejes, amplificadores, dispositivos de seguridad, redes...



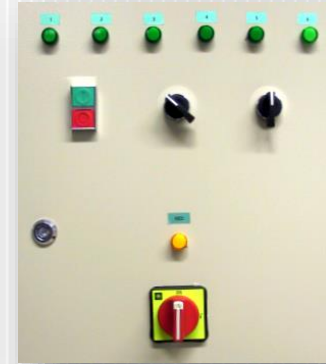


Arquitectura y Componentes

- **Sistemas de interacción y monitorización:**
 - ✓ Interacción del operador humano.
 - ✓ Monitorización.
 - ✓ Supervisión.



Omron NS15
industrial.omron.es

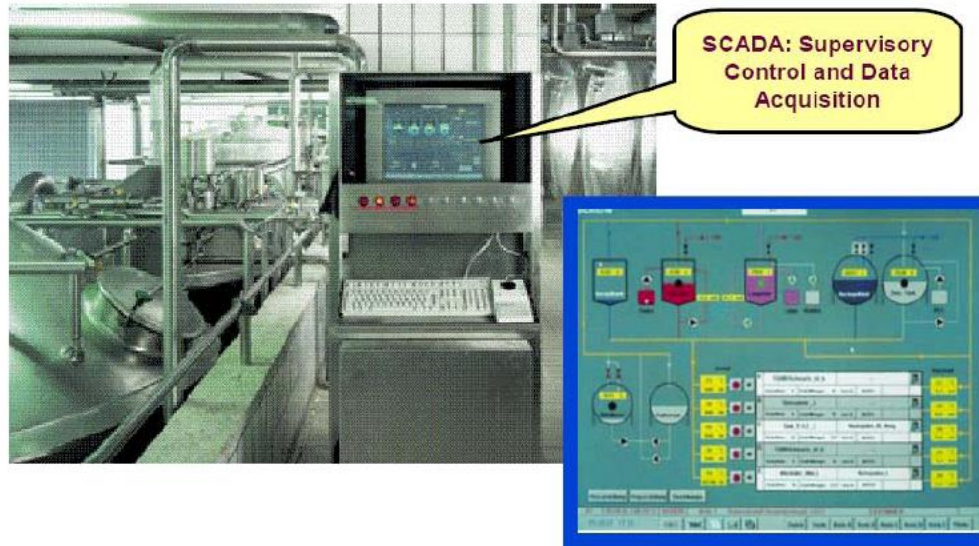


Schneider Magelis XBT
www.schneiderelectric.es



Arquitectura y Componentes

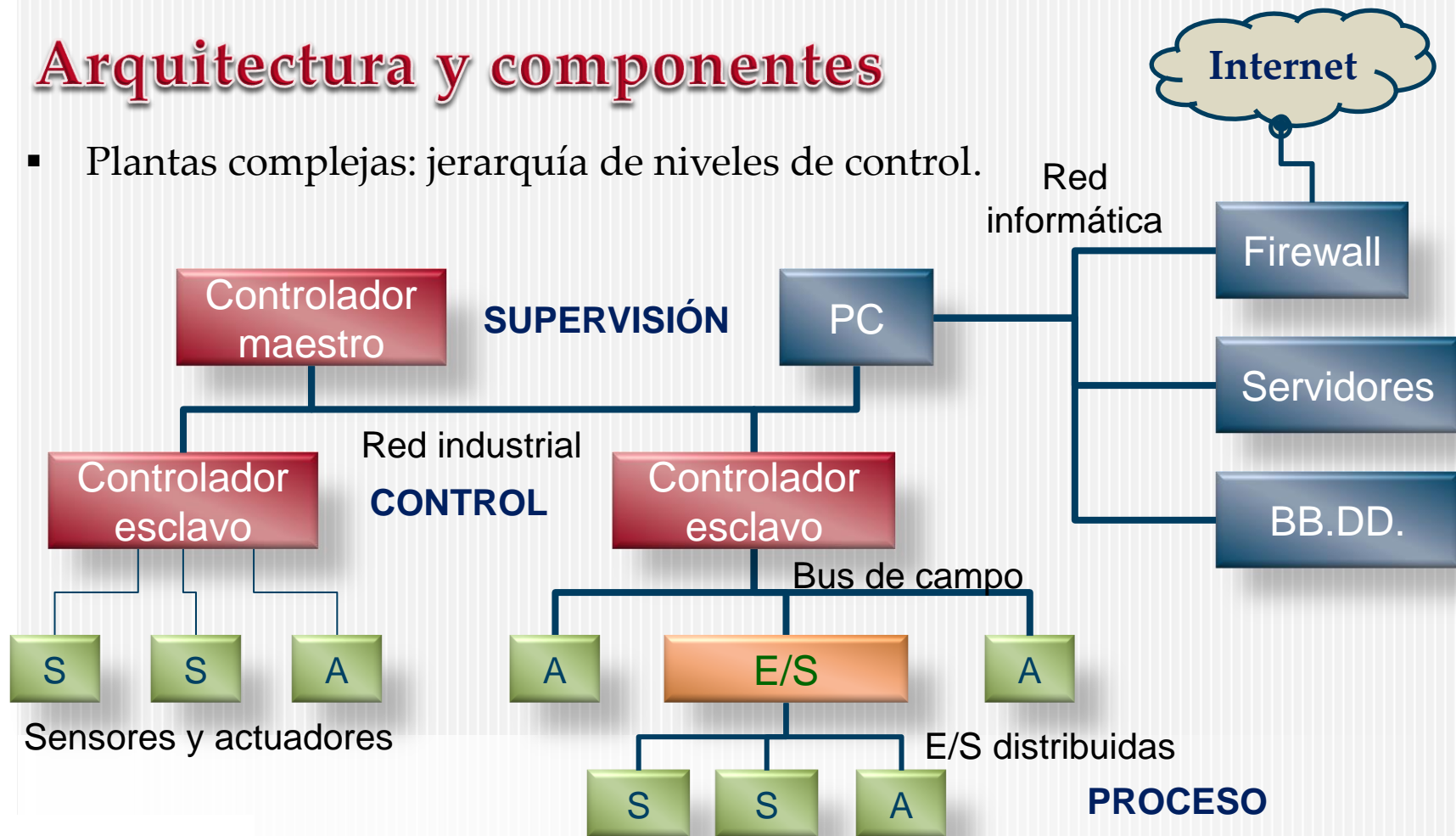
- **SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition)**
 - ✓ Monitoriza la planta y recopila información para gestionar la producción y la calidad.
 - ✓ Interacciona con los sistemas informáticos de la empresa.





Arquitectura y componentes

- Plantas complejas: jerarquía de niveles de control.





TIPOS DE SEÑALES. TIPOS DE CONTROL

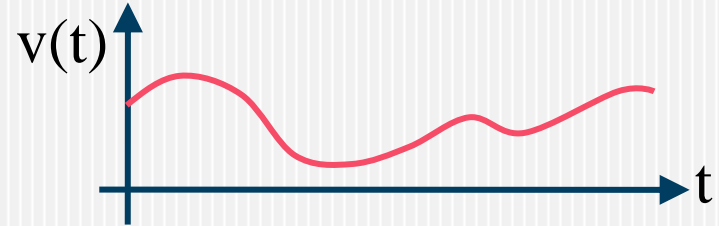
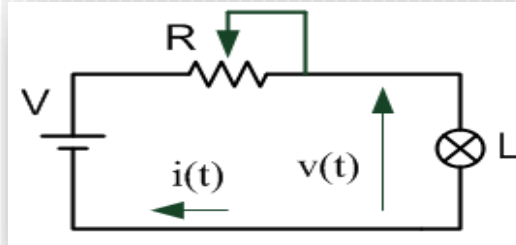




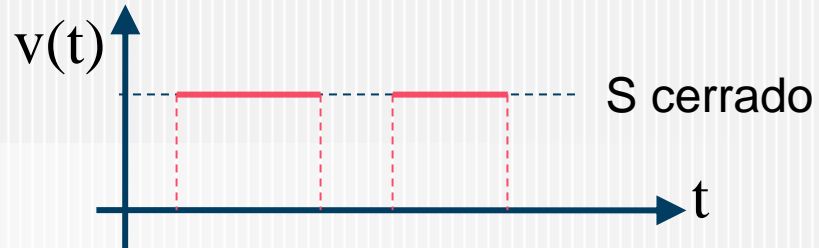
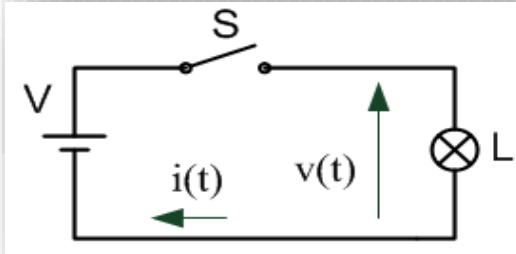
Tipos de señales

- En la naturaleza, todas las señales físicas son continuas en amplitud y tiempo → señales analógicas.
- Los circuitos lógicos y los microprocesadores trabajan con señales discretas en amplitud y tiempo → señales digitales (todo – nada, 1- 0).

ANALÓGICO



DIGITAL





Tipos de señales

- **Señales digitales en automatización.**
 - Señales de mando y de control básicas
 - Paro \leftrightarrow Marcha.
 - Interruptores, pulsadores, relés, pilotos
 - Abierto \leftrightarrow Cerrado.
 - Relés, actuadores eléctricos
 - Sin tensión \leftrightarrow Con tensión.
 - Válvulas de dos posiciones, cilindros
 - Posición A \leftrightarrow Posición B
 - Sensores de nivel de liquido, temperatura, posición
 - Nivel $< K \leftrightarrow$ Nivel $> K$.

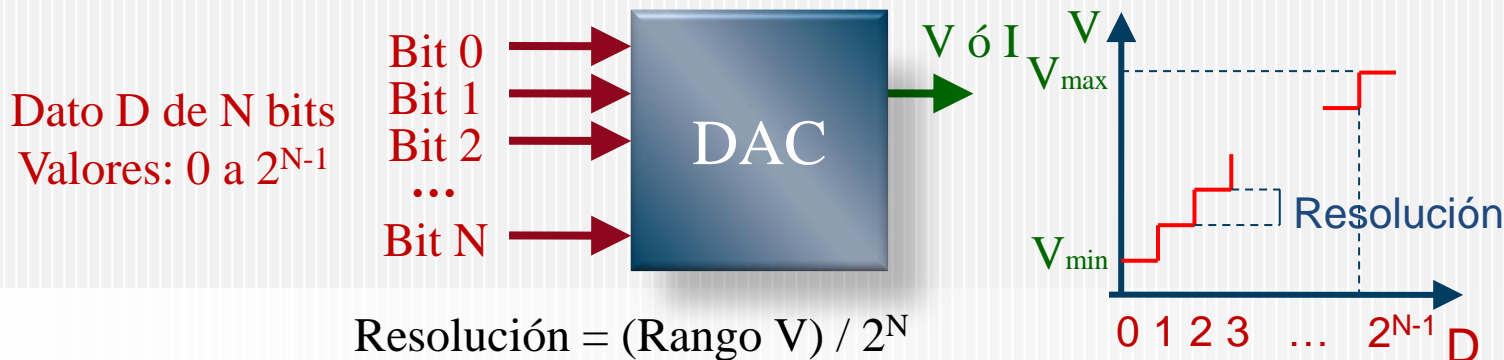




Tipos de señales

■ Conversión digital-analógica.

- Cuando se necesita que un circuito lógico o micro-procesador digital trabaje con señales analógicas, se requiere una conversión.
- Conversor D→A (DAC).
 - Conversión directa y rápida (1-10ms).
 - La resolución depende del número de bits de entrada.
 - No se puede generar cualquier valor analógico de salida.



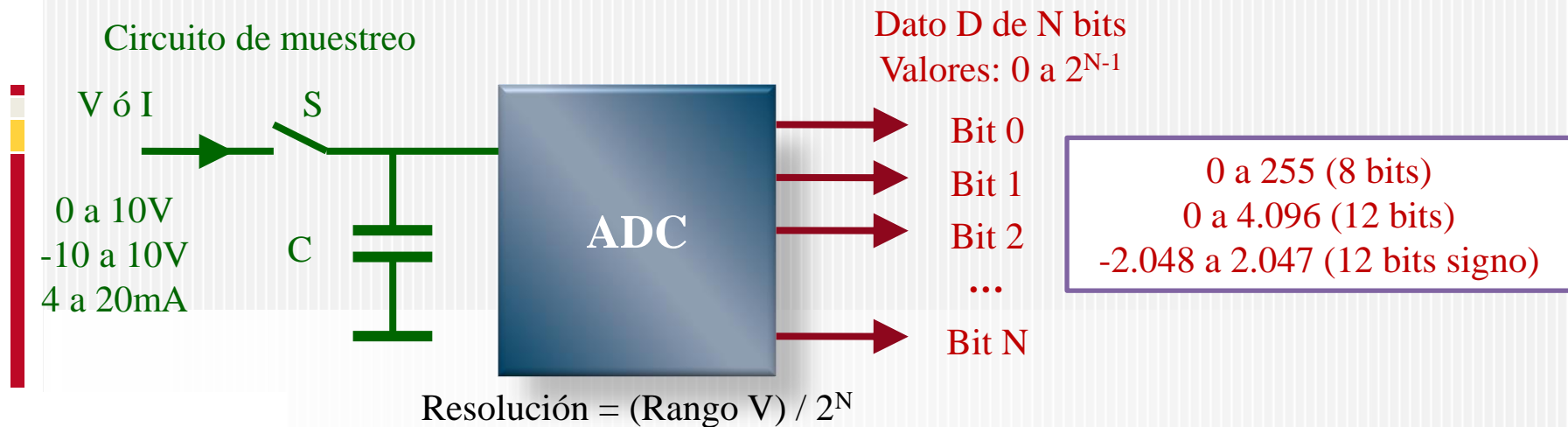


Tipos de señales

■ Conversión analógico-digital.

▫ Conversor A→D (ADC).

- Requiere un tiempo de conversión (5 a 100ms).
- El tiempo de conversión limita la frecuencia de trabajo.
- La resolución depende del número de bits del dato.
- Siempre hay error: se convierte un valor real en uno entero





Tipos de control

- **Sistema de control lógico (digital):**
 - El controlador evalúa las señales de los sensores como digitales (objeto detectado o no detectado).
 - El controlador envía señales digitales a los accionamientos (motor de la cinta en paro o marcha).
 - El controlador funciona como un circuito lógico.
- Aplicaciones para las que se idearon los PLCs.
- Hoy en día los PLCs de gama media y alta también pueden realizar control continuo (E/S analógicas).



Omron ZEN
industrial.omron.es



Schneider Zelio
www.schneiderelectric.es



Tipos de control

- La base del control lógico es el **Álgebra de Boole**:
 - Sistema de numeración binario, con una lógica basada en **señales de dos valores**: 0 y 1. Con ellos se puede representar:
 - Señales de mando básicas: **Paro \leftrightarrow Marcha**.
 - Interruptores, pulsadores, relés: **Contacto abierto \leftrightarrow Contacto cerrado**.
 - Relés, actuadores, pilotos: **Sin corriente \leftrightarrow Con corriente**.
 - Posición de accionamientos: **Posición A \leftrightarrow Posición B**.
 - Umbrales en valores de variables: **Nivel $< K \leftrightarrow$ Nivel $> K$** .
 - Se dispone de **operaciones básicas para crear funciones lógicas** con las que expresar las salidas del controlador en función de sus entradas.





Tipos de control

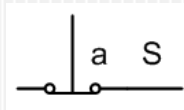
- La base del control lógico es el **Álgebra de Boole**:
 - Las operaciones básicas (puertas lógicas) se definen por su función y su tabla de verdad.

Inversión

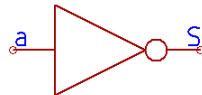
$$S = \bar{a}$$

a	S
0	1
1	0

Simbología
eléctrica



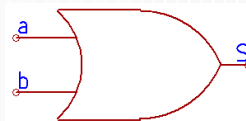
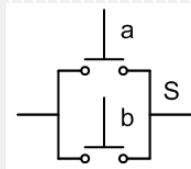
Simbología
electrónica



Suma

$$S = a + b$$

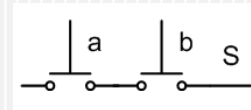
a	b	S
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1



Producto

$$S = a \cdot b$$

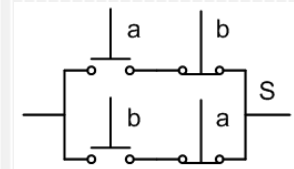
a	b	S
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1



Suma exclusiva

$$S = a \oplus b$$

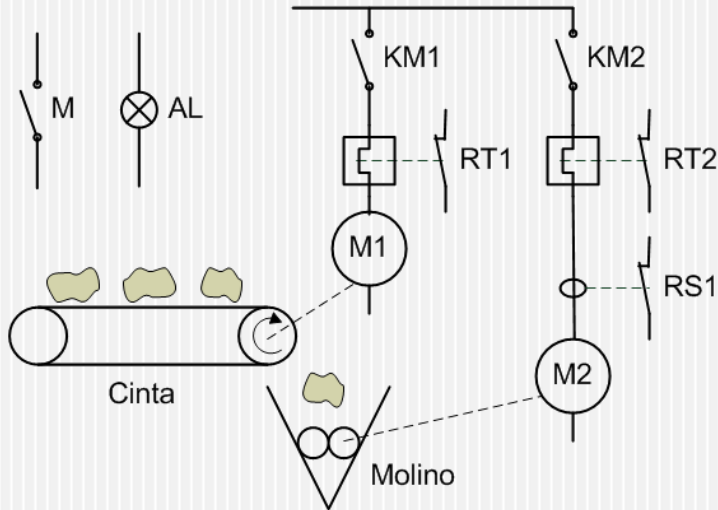
a	b	S
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	0





Tipos de control

- Ejemplo de control lógico: Control de un molino con alimentación mediante cinta transportadora.
 - Esquema simplificado con los componentes básicos:



M: Interruptor de marcha.

AL: Piloto de alarma.

M1: Motor 1, mueve la cinta transportadora de rocas.

M2: Motor 2, mueve el molino.

KM1: Relé para gobernar el motor 1.

KM2: Relé para gobernar el motor 2.

RT1: Relé térmico para proteger el motor 1.

RT2: Relé térmico para proteger el motor 2.

RS1: Sensor de corriente para proteger el sistema.

KM1, KM2



RT1, RT2



RS1





Tipos de control

- Ejemplo de control lógico: funcionamiento del molino:
 - La cinta transportadora recibe rocas y las traslada hasta el molino. El molino está compuesto de dos cilindros que giran en sentidos opuestos y trituran las rocas.
 - Los motores M1 y M2 se gobiernan actuando sobre los contactores (relés de potencia) KM1 y KM2. El circuito de control gobernará las bobinas de los relés KM1 y KM2.
 - Los relés térmicos (RT1, RT2) se activan cuando el motor correspondiente consume más corriente de la que soporta.
 - El sensor de corriente se activa cuando la corriente de M2 supera un valor establecido, lo que indica que el molino se ha atascado.





Tipos de control

- Ejemplo de control lógico: especificaciones para el control del molino.
 - M2 está en marcha si está cerrado M.
 - M1 está en marcha si está en marcha M2 y el relé detector de corriente RS1 no detecta sobrecarga.
 - M1 y M2 sólo funcionan si no se activa el relé térmico correspondiente: RT1 y RT2.
 - La luz de alarma AL alarma se enciende si M1 está en marcha y M2 está parado, o si se activa el relé de corriente RS1.
 - Los contactos de los relés RT1, RT2 y RS1 están normalmente cerrados, y se abren cuando se activan.
 - Esto es lo habitual en dispositivos de seguridad: así un fallo en el propio dispositivo también abrirá el contacto.



Tipos de control

- Ejemplo de control lógico: pasos a realizar.
 - El primer paso es la **identificación de entradas y salidas** del controlador para el molino:
 - Entradas: M, RT1, RT2, RS1 (0=abierto, 1=cerrado).
 - Salidas: KM1, KM2, AL (0=apagado, 1=encendido).
 - Los motores M1 y M2 no son gobernados directamente por el controlador, sino mediante los relés KM1 y KM2.
 - KM1 y KM2 actúan como **preaccionamientos** que permiten controlar los motores de gran potencia desde el controlador.
 - Los relés KM1, KM2, RT1, RT2, RS1 aíslan las partes de potencia y de mando del sistema.



Tablas de la verdad, funciones lógicas,
circuito lógico combinacional

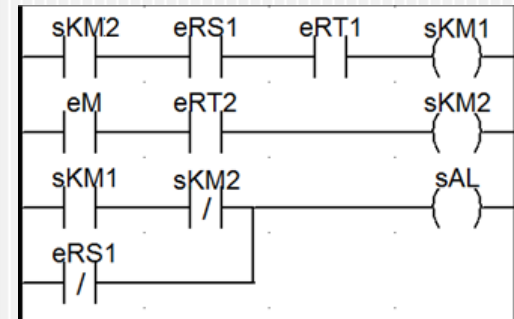
Tipos de control

- Ejemplo de control lógico: especificaciones para el control del molino.
 - M2 está en marcha si está cerrado M.
 - M1 está en marcha si está en marcha M2 y RS1 activado.
 - M1 y M2 sólo funcionan si no se activa el relé térmico correspondiente: RT1 y RT2.
 - La luz de alarma AL alarma se enciende si M1 está en marcha y M2 está parado, o si se activa el relé de corriente RS1.
 - Los contactos de los relés RT1, RT2 y RS1 están normalmente cerrados, y se abren cuando se activan.

$$sKM1 = eKM2 \cdot eRS1 \cdot eRT1$$

$$sKM2 = eM \cdot eRT2$$

$$sAL = sKM1 \cdot \overline{sKM2} + \overline{eRS1}$$



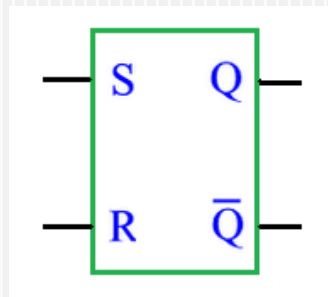
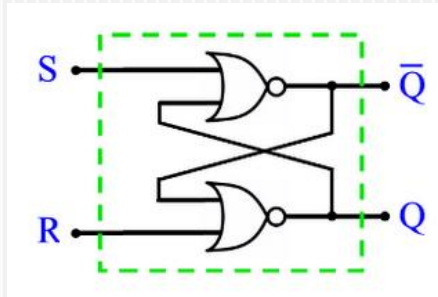


Tipos de control

- El controlador del ejemplo del molino es un **circuito lógico combinacional**.
 - Las salidas de las funciones lógicas dependen solo de las entradas, todas para el mismo instante de tiempo (no tienen memoria).
- En contraste, están los **circuitos lógicos secuenciales** como son circuitos con memoria:
 - Las salidas están en función de la historia pasada del circuito, además de las entradas.

Tipos de control

- Los biestables son los circuitos secuenciales más básicos.
- El **biestable RS** es el más sencillo.
 - Se usa mucho en automatización para resolver situaciones de marcha y parada de accionamientos. Por eso suele estar como operación nativa en los lenguajes de programación de PLCs.



R	S	Q_{nT}	$Q_{(n+1)T}$	$\overline{Q_{(n+1)T}}$
0	0	q	q	\bar{q}
1	0	x	0	1
0	1	x	1	0
1	1	q	0	0



Tipos de control

- **Sistema de control continuo (analógico):**
 - El controlador procesa valores numéricos de las señales de los sensores (sensor de temperatura de -10 a 90°C).
 - El controlador envía señales numéricas a los accionamientos (velocidad ventilador: 15 a 120 r.p.m.).
 - Se habla de un sistema de regulación o “servo-control” y controlar mediante PID.



Schneider Modicom340
www.schneiderelectric.es





Ingeniería Informática



LÓGICA CABLEADA - LÓGICA PROGRAMADA

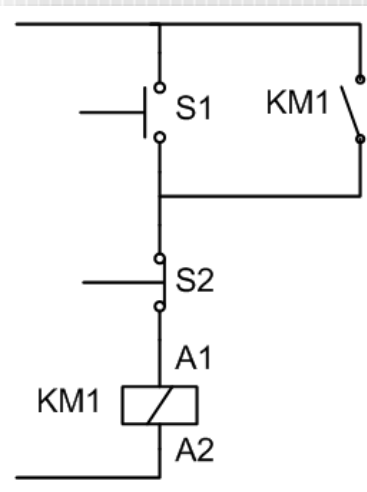


Lógica cableada

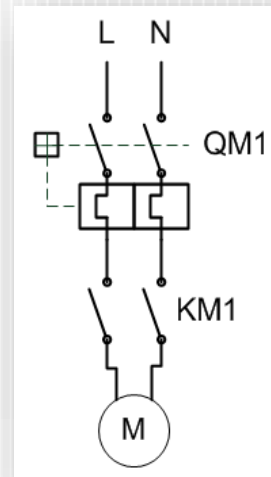
- La primera solución generalizada en sistemas automáticos industriales.
- Evolución: mecánicos, hidráulicos, eléctricos y relés.
- Los relés tienen vida limitada, consumen bastante energía, y producen interferencias.

Circuito de marcha-paro

S1	S2	KM _t	KM _{t+1}
x	On	x	Off
Off	x	Off	Off
On	Off	x	On
x	Off	On	On



Mando

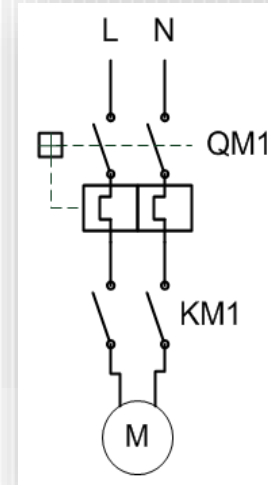
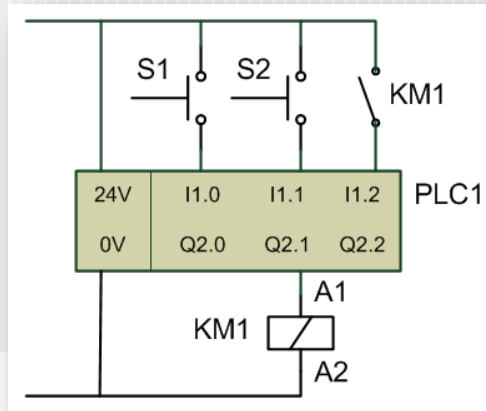


Potencia



Lógica programada

- **La capacidad de programación aporta flexibilidad:**
 - Un controlador sirve para muchas aplicaciones.
 - Facilita mucho el mantenimiento y las modificaciones.
 - Permite la ampliación de funciones.
 - Permite registrar la evolución del sistema.

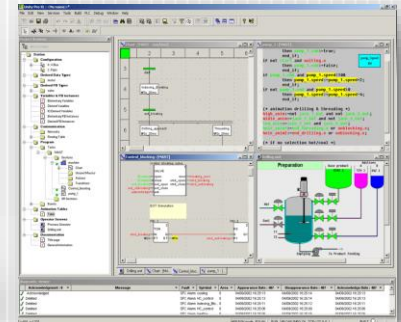
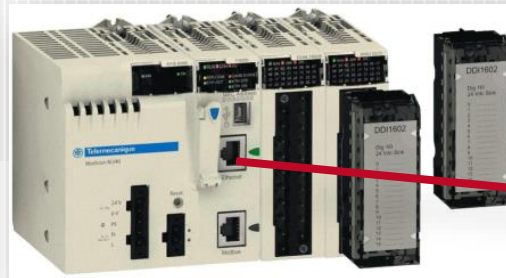




Lógica programada

- **Se requieren sistemas basados en microprocesador:**
 - CPU y memoria programa (ROM) y de datos (RAM).
 - Puertos de entrada y salida, digitales y analógicos.
- **Dos opciones:**
 - Sistemas basados en Microcontrolador. Poco estándar, expansión limitada, requiere conocimientos avanzados. Bajo coste. A medio camino entre cableado y programado.
 - Sistemas basados en Programmable Logic Controller (PLC). Funcionamiento muy estandarizado. Flexibles y expandibles. Desarrollo y puesta en marcha rápidos. Coste medio a alto.

Se requiere un lenguaje de programación y software





Lógica programada - cableada

Características	Sistema eléctrico de relés	Autómata programable
Volumen	Alto	Bajo
Consumo	Alto	Bajo
Velocidad	Baja	Media-alta
Desgaste	Alto	Bajo
Coste	Alto	Medio
Mantenimiento	Difícil	Fácil
Ampliación	Difícil	Fácil
Interconexión a otros procesos	Difícil	Fácil
Personal especializado	Poco	Medio
Hardware /software estándar	No	Si





Ingeniería Informática

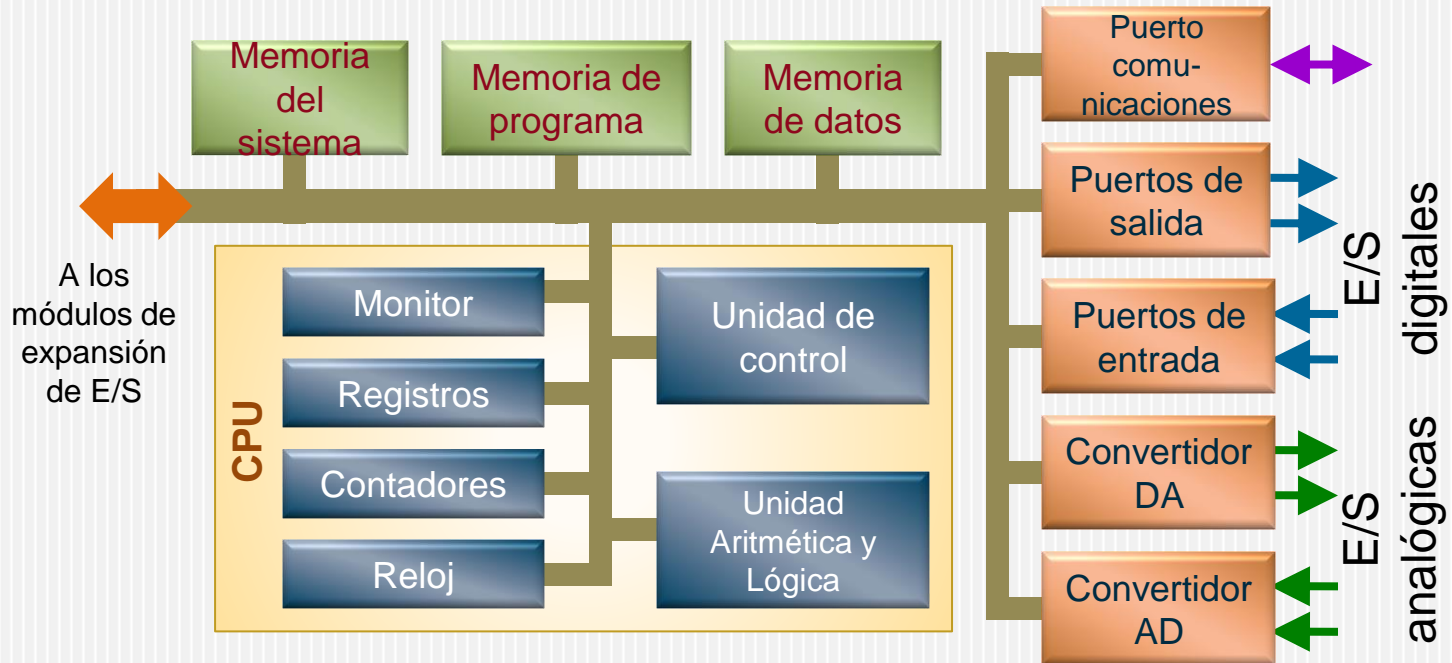


PLC



PLC

- Un PLC es básicamente un **sistema microcomputador robusto**, con un **sistema operativo de tiempo real**, y variedad de **entradas y salidas (E/S)**.



PLC

- Hay dispositivos de control programables que son muy sencillos y no se consideran PLCs:
 - Relés programables, temporizadores, reguladores de temperatura o velocidad...
 - Solo ofrecen control lógico digital.
 - Tienen de 10 a 20 E/S como máximo.
 - Son baratos y muy fáciles de programar.



LOGO SIEMENS
new.siemens.com



Omron ZEN
industrial.omron.es



Schneider Zelio
www.schneiderelectric.es

PLC

■ PLCs compactos:

- Un mismo equipo para la CPU y E/S. 10-200 E/S.
- Con potencia de proceso, funciones y memoria limitados (hasta 10K pasos). Pero son **pequeños y fáciles de instalar**.
- Debido a su éxito, muchos modelos se han mejorado con puertos de comunicaciones y módulos de expansión E/S.
- Son **económicos** (120-600€).



Siemens Logo8

<https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems.html>



Omron CP1L
industrial.omron.es

PLC

■ Comparación entre Arduino y un PLC compacto:

Característica	Arduino Uno	PLC compacto sencillo + E/S analógicas
Robustez física	Muy baja.	Alta. Certificado para ambientes duros (polvo, húmedas, vibraciones...)
Fiabilidad del software	Depende del programador.	Alta. Hay un SO operativo supervisa los programas y detecta fallos.
Sistema Operativo	NO: solo tiene un <i>bootloader</i> básico.	SI: de tiempo real, multitarea, y ejecución en ciclo.
Alimentación	CC 5 – 12V.	CC 24V, o CA 230V.
Entradas y salidas	Tensiones y corrientes CC muy bajas (5V, 40mA pin). No aisladas. Hay que añadir amplificadores y acondicionamiento externamente. Conexión con tiras de pines.	Digitales con tensiones altas (CC 24V o CA 230V). Corrientes medias (200mA a 2A). Analógicas de rangos configurables. Con aislamiento óptico. Amplificadores y acondicionamiento incluidos. Conexiones de tornillos.
Comunicaciones	Serie síncrono (I2C, SPI) y asíncrono.	Serie asíncrono (RS-232 o RS-485). Ethernet.
Programación	A bajo nivel. Principalmente C++. Orientada a objetos.	Varios lenguajes gráficos muy estructurados de alto nivel. Orientado a bloques.
Estructura de programa	Funciones principales <i>setup()</i> y <i>loop()</i> . Funciones de interrupción. Clases y funciones de usuario.	Múltiples secciones de código (en principio se ejecutan todas) que se ejecutan en ciclo. Secciones para eventos (interrupciones). Bloques definidos por usuario.
Coste	Bajo (30€).	Medio (150€).



PLC

■ PLCs modulares:

- Alimentación, CPU, y E/S en **módulos conectables**.
- **Gran variedad de módulos** E/S y de comunicación.
- CPU con más potencia y memoria (10-200K pasos).
- Se puede alcanzar **gran numero de E/S** (unas 2.000).
- **Coste medio** (1.000-4.000€)



Omron CJ1M
industrial.omron.es



Schneider Modicom340
www.schneiderelectric.es



Siemens S7-1200
new.siemens.com

PLC

- PLCs modulares de gama alta
 - Modulares y con **gran capacidad de expansión**. Una CPU puede gobernar varios bastidores de E/S (hasta 5000 E/S).
 - **CPU muy potentes** y con mucha memoria (más de 200K pasos), con múltiples opciones de comunicación.
 - Admiten **configuraciones redundantes**.
 - Para procesos muy complejos.
 - **Son caros** (> 3.000€).



Siemens SIMATIC S7-1500
<https://www.siemens.com/global/en/home/products/automation/systems.html>



Omron NJ Series
industrial.omron.es



PLC

- Funciones avanzadas (en PLCs de gama media o alta):
 - Entradas de cuenta rápida y salidas de pulsos y PWM.
 - Control de procesos continuos y algoritmos PID.
 - Conexión a módulos de E/S distribuidas con buses de campo.
 - Diferentes protocolos de comunicaciones industriales para conectar con otros equipos.
 - Conexión Ethernet y protocolos TCP/IP.
 - Servidores Web y FTP para supervisión remota.
 - Programación en texto con lenguajes orientados a objetos.
 - Lenguajes avanzados como C# y .NET.
 - Depuración on-line, y almacenamiento de trazas de ejecución.





PLC

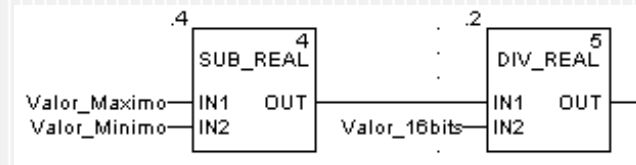
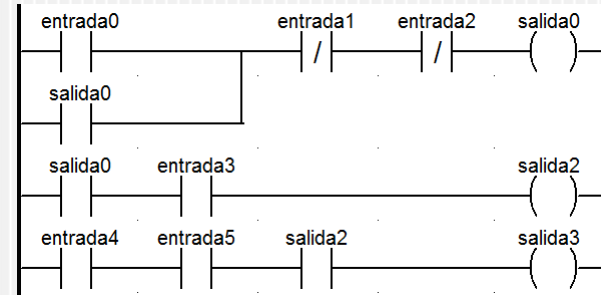
- Hasta finales del siglo XX, los PLCs de distintas marcas usaban lenguajes de programación y protocolos de comunicaciones diferentes e incompatibles.
- La norma **IEC 61131** define un estándar para PLCs:
 - Información general (61131-2).
 - Especificaciones y ensayos de los equipos (61131-2).
 - Lenguajes de programación (61131-3).
 - Guías de usuario y de aplicación (61131-4, 61131-8).
 - Comunicaciones (61131-5).
 - Buses de campo (61131-6).
 - Control difuso (61131-7).

PLC

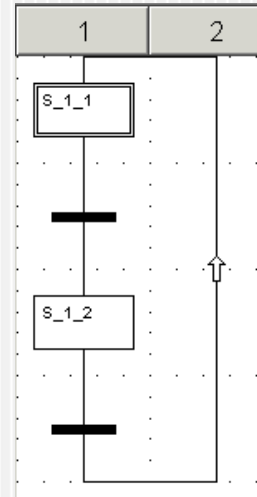
- En el IEC 61131-3 se definen **varios lenguajes** para PLCs:

- Lista de instrucciones (AWL).
- Diagrama de contactos (LD o KOP).
- Diagrama de bloques funcionales (FBD).
- Texto estructurado (ST o SCL).
- Diagrama secuencial de funciones (SFC o GRAFCET).

```
Starting_motor: LD      Starting_motor
                  ANDN   Motor_fault
                  ST
Convert_speed:   LD      Motor_speed
                  MUL    thread
                  ST      Speed
```



```
LOOP:
SUM := 0 ;
FOR I := 1 TO 3 DO
  FOR J := 1 TO 2 DO
    IF FLAG=1 THEN EXIT;
  END_IF ;
  SUM := SUM + J ;
END_FOR ;
SUM := SUM + I ;
END_FOR;
```





PLC

- Marcas más extendidas de PLCs:
 - SIMATIC de **Siemens** (Alemania)
 - Allen Bradley de **Rockwell** (EE.UU.)
 - Series CJ, CP y CS de **Omron** (Japón)
 - Modicon de **Schneider** (Francia)
 - Series AC500 de **ABB** (Suiza)
 - MELSEC de **Mitsubishi** (Japón)
 - Series AH, AS y DVP de **Delta** (China)

SIEMENS

**Rockwell
Automation**



Allen-Bradley

OMRON

**Schneider
Electric**

ABB

 **MITSUBISHI
ELECTRIC**

 **DELTA**



PLC

- Cada marca tiene sus propios entornos de programación, aunque todas soportan el IEC 61131-3.
 - Siemens → TIA Portal.
 - Rockwell → RSLOGIX.
 - Omron → Cx-One (series CP y CJ) y Symac Studio (NJ).
 - Schneider → Unity Pro, Concept, PL7...
 - ABB → Automation Builder.
- La mayoría de marcas ha unificado las distintas aplicaciones que ofrecían en **una única plataforma** en los últimos años.
- Estas aplicaciones suelen requerir **el pago de licencias**.
 - Normalmente las marcas ofrecen versiones educativas o de prueba, pero no siempre están disponibles en su web.





PLC

- Aspectos a tener en cuenta para **elegir un PLC (I)**:
 - Hay que tener claro la **necesidades de E/S** de la aplicación.
 - Tipos de E/S (digitales, analógicas, digitales rápidas, relé, de cuenta...).
 - Número de entradas y de salidas.
 - **Escalabilidad**: estimar la necesidad de futuras ampliaciones.
 - PLC compacto, modular, o modular de gama alta.
 - **Capacidad** de programa y de memoria
 - Según la complejidad del programa, las comunicaciones y las E/S.
 - **Comunicaciones** industriales y de campo.
 - Propietarias o estándar. Posibilidad de Ethernet Industrial.
 - Necesidad de **control de movimiento**.
 - Según del número de ejes se requieren módulos o CPUs especiales.



PLC

- Aspectos a tener en cuenta para **elegir un PLC** (II):
 - Necesidades de **gestión de seguridad**.
 - Incluida en el PLC principal, o en un controlador específico de seguridad.
 - **Software**: entorno de programación.
 - Lenguajes soportados. ¿Cumple el IEC 61131-3? ¿Hay plataforma integrada o múltiples aplicaciones?
 - Certificaciones de **robustez y fiabilidad**.
 - Entornos para los que el PLC está certificado.
 - **Precio**. No solo hay que pensar en el PLC:
 - PLC, módulos, borneros, cables de comunicaciones, software...
 - **Servicio técnico**: ¿Hay proveedores y técnicos en la región?

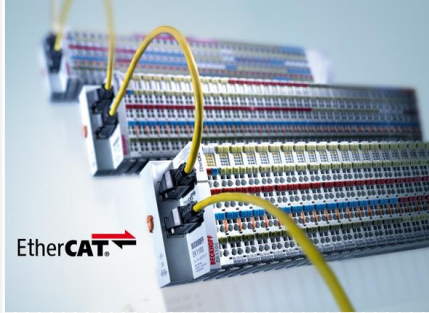


PLC

- En los últimos años se ha extendido el concepto de **PAC** (*Programmable Automatic Controller*):
 - Combina la flexibilidad y modularidad de E/S de un PLC, con una CPU y sistema operativo tipo PC (Linux o M. Windows):
 - Permiten otros lenguajes de programación de alto nivel no incluidos en IEC 61131-3 (C++, C# y .NET...)
 - Disponen de módulos de control de posición y movimiento.
 - Gran capacidad de procesamiento y operaciones en coma flotante. Útiles para control continuo.
 - Soportan varios protocolos de comunicación industriales, y protocolos y servicios TCP/IP (Web, email, *Remote desktop*, *cloud storage*...).
- Muchos fabricantes ofrecen estas características en sus PLCs de gama media o alta sin hablar de PACs.

PLC

- Ejemplos de PACs industriales:



Tecnología Beckhoff

- Racks de Módulos E/S.
- Rack con CPU o Panel PC (hasta Intel Core i7 de 4 núcleos)
- M. Windows con software TwinCAT para control en tiempo real.
- Comunicación con EtherCat.

www.beckhoff.es



Ingeniería Informática



AUTOMATIZACIÓN Y ROBÓTICA

CURSO 2022/2023

Tema 1. Introducción a la Automatización Industrial