

## AUTÓMATAS PROGRAMABLES

### INTRODUCCIÓN

Todo sistema automatizado está formado por tres partes claramente diferenciadas, a saber:

- La parte operativa o proceso que se desea controlar.
- La parte de control o controlador utilizado para gobernar la parte operativa de la manera deseada.
- La parte de supervisión y explotación del sistema que servirá de interfaz entre el operador y el sistema automatizado. Genéricamente a esta función se le conoce con el acrónimo HMI del Inglés “*Human Machine Interface*” o interfaz hombre máquina.

Para llevar a cabo el correcto intercambio de información entre las distintas partes que integran un sistema automatizado son necesarios una serie de interfaces o líneas de comunicación.

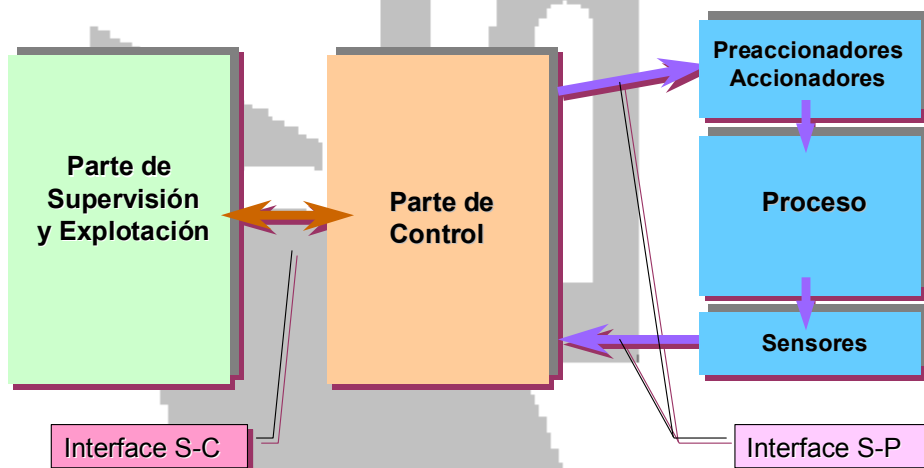


Ilustración 1 Esquema general de un sistema automatizado (I)

Cuando el sistema que se pretende automatizar es una vivienda o edificio, o mejor dicho, los distintos sistemas que la forman, ésta se convierte en un sistema automatizado con un esquema como el detallado anteriormente.

En este caso la parte operativa está integrada por los distintos componentes que forman las distintas instalaciones o sistemas (climatización, luces, cargas, persianas, etc.) susceptibles de ser controlados en una vivienda o edificio

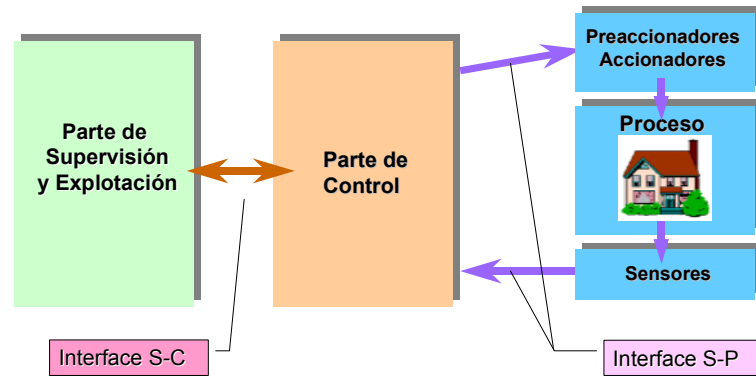


Ilustración 2 Esquema general de un sistema automatizado (II)

Parte destacada de estos componentes son los sensores y los actuadores. Los primeros serán empleados para detectar las magnitudes físicas del proceso (presencia de humo, inundación, final de carrera de una persiana, etc.) relevantes para poder llevar a cabo el correcto control de las instalaciones. La información de estas magnitudes una vez convertida en una señal eléctrica y adaptada al rango de trabajo del equipo de control, es transmitida a éste por medio del interfaz de conexión correspondiente. El equipo de control con esta información y en base al programa de control que reside en su memoria, tomará las decisiones oportunas para mantener el proceso dentro de los márgenes de trabajo definidos por el usuario. Estas decisiones se traducirán en acciones sobre los componentes de los sistemas de la vivienda. Estas acciones serán ejecutadas por medio de los preaccionadores y accionadores del proceso (relés, contactores, electroválvulas, etc.). Estos dispositivos se hallan conectados al equipo de control por medio de una interfaz adecuada. Se logra así transformar las señales eléctricas que produce el equipo de control en acciones sobre los distintos componentes de la vivienda.

En lo referente a la parte de supervisión y explotación del sistema existen multitud de dispositivos susceptibles de ser empleados para llevar a cabo esta labor. La decisión final sobre cuál emplear vendrá determinada por las restricciones técnicas y de conexión que imponga el tipo de control empleado, y por el presupuesto disponible para cubrir este apartado.

Al final de este capítulo se presentan en detalle las características más relevantes de los dispositivos HMI más empleados cuando se utilizan PLC's como dispositivos de control domótico. En la U.D.2. se describen los elementos HMI más comúnmente empleados por otros sistemas domóticos no basados en PLC's.

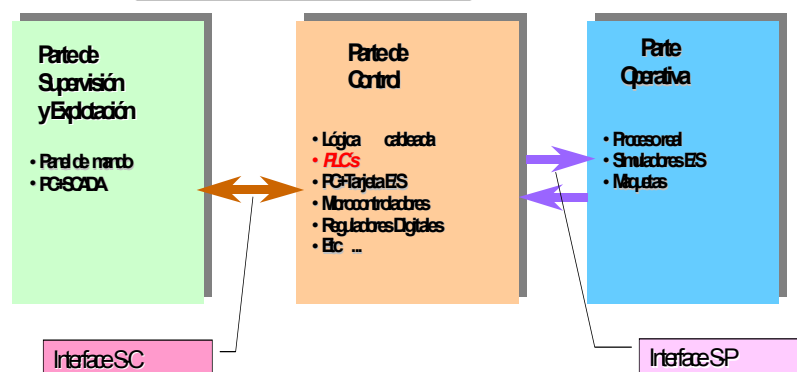


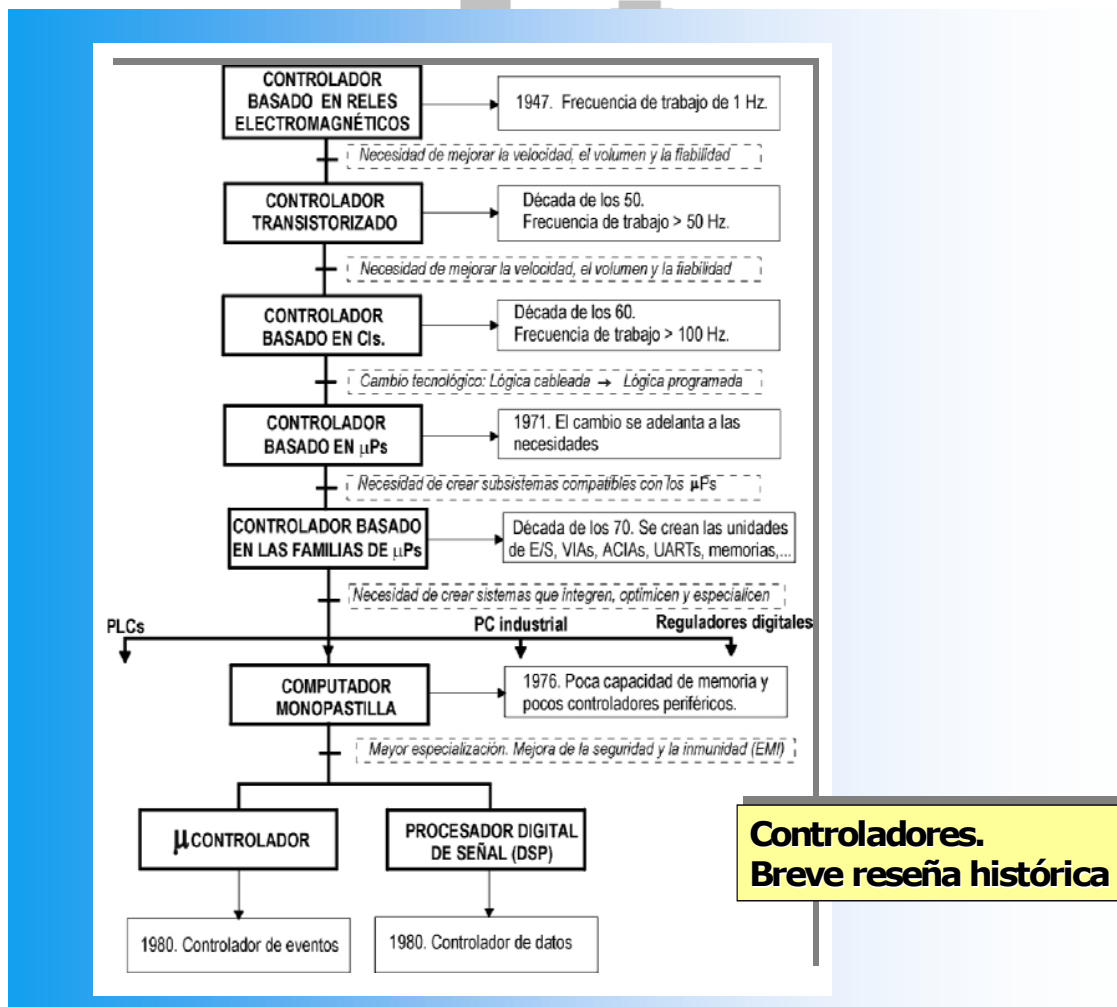
Ilustración 3 Sistema de automatización: Componentes habituales

En el ámbito extenso de la automatización de procesos existen varios tipos de tecnologías para implementar la parte de control: lógica cableada, microcontroladores, reguladores digitales, etc. Sin embargo, centrándose en el ámbito de la domótica e inmótica, la tecnología más empleada es la basada en algún tipo de dispositivo electrónico programable, como por ejemplo, microcontroladores, autómatas programables,...

A partir de mediados del siglo XX con la aparición de los transistores se ve la posibilidad de aplicarlos para sustituir a los relés electromecánicos empleados en el control de procesos hasta ese momento. La razón fundamental es la mayor frecuencia de conmutación de los transistores con respecto a los relés, lo cual permitirá incrementar fundamentalmente la velocidad de control, la fiabilidad y reducir el tamaño de los controladores.

Las características de los equipos de control basados en la tecnología electrónica siguen mejorando a medida que los transistores van evolucionando y convirtiéndose en más rápidos, fiables y pequeños.

A principios de la década de 1970 se produce una escisión en la evolución de estos equipos de control propiciada por la necesidad de adaptar los distintos sistemas de control a las peculiaridades de los procesos que debían controlar.



**Controladores.  
Breve reseña histórica**

Ilustración 4 Evolución histórica de los controladores programables.

Así aparecen:

- Los ordenadores personales (PC) de carácter industrial. Varias son las características que les hacen ser más ventajosos frente a sus rivales, a saber: su gran capacidad de cálculo debida fundamentalmente a los potentes microprocesadores y la gran cantidad de memoria de trabajo que incluyen, su bajo coste derivado de su arquitectura estándar, su gran facilidad para la conexión con otros equipos y su escalabilidad.
- Los computadores monopastilla se dividen en dos categorías bien conocidas: procesadores digitales de señal (DSP) y microcontroladores. Aunque ambos exhiben características similares, de nuevo aparece esta división debido al tipo de aplicación a que son dedicados. Los primeros son utilizados fundamentalmente en el campo de la instrumentación y en general en cualquier campo que requiera el tratamiento de señales eléctricas para su análisis o procesado. Los segundos son profusamente empleados en la electrónica de consumo y en el diseño de los equipos de control de los sistemas empotrados. Por sistema empotrado se conoce aquel sistema que aún ajustándose al esquema general de un sistema automatizado, su parte operativa y su parte de mando forman una unidad física indisoluble. Son ejemplos de este tipo de sistemas el control ABS de un vehículo, el control de una lavadora, un microondas, etc.
- Los autómatas programables. En lo que resta de este capítulo se tratarán en profundidad este tipo de dispositivos. Simplemente adelantar ahora que su empleo está indicado en el control de cualquier tipo de proceso, pero debido a su gran facilidad de conexión a los sensores y actuadores que forman parte del proceso, están especialmente indicados en aquellos casos en los que las características del proceso sean cambiantes a lo largo del tiempo, y a su vez esto influya en el controlador, tanto en su parte hardware como software. Esto ocurre muy a menudo en la industria de producción como por ejemplo en el sector del automóvil, en el que las pautas del mercado exigen el desarrollo de nuevos modelos en menores plazos de tiempo, y además con mejores prestaciones de calidad y a precios competitivos.
- Los reguladores digitales. Este tipo de dispositivos están especialmente diseñados para llevar a cabo el control de procesos de tipo continuo, como por ejemplo los propios de la industria petroquímica, cementera, alimentación, etc. Este tipo de procesos son controlados mediante la ejecución de complejos algoritmos diseñados mediante las técnicas de la disciplina de la regulación automática. Estos algoritmos podrían perfectamente ser ejecutados por los PC industriales o los autómatas programables, y de hecho en nuestros días esto es así en la mayoría de los casos, pero en el momento en el que estos dispositivos fueron diseñados no estaban preparados para llevar a cabo este tipo de control y fue necesario diseñar los reguladores digitales a modo de dispositivos dedicados a esta tarea específica.

Hoy en día, 25 años después de la aparición de estos dispositivos, aún perduran estas diferencias tan marcadas entre los distintos tipos, pero cada vez la frontera que los separa se va difuminando más y más, llegando incluso a aparecer arquitecturas híbridas que aúnan lo mejor de cada tipo, como por ejemplo los PC/PLCs que basándose en una arquitectura de tipo PC mucho más rica en recursos, toman de los PLCs su modo de funcionamiento y su gran facilidad a la hora de ser conectados al proceso.

CARACTERÍSTICAS DE CONTROL	CONTROLADORES COMERCIALES			
	PC INDUSTRIAL	PLC	MICRO-CONTROLADOR	REGULADOR DIGITAL
CONTROL BOOLEANO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CONTROL CONTINUO	<input type="checkbox"/> (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (2)	<input type="checkbox"/>
GESTIÓN O CÁLCULOS COMPLEJOS	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> (3)	<input type="checkbox"/>
SERIES IMPORTANTES	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
VELOCIDAD DE PROCESAMIENTO	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CANTIDAD DE E/S	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CAPACIDAD DE COMUNICACIÓN	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Control Continuo

Sistemas Empotrados

Control Procesos

(1) Siempre que se utilicen tarjetas de adquisición de datos  
 (2) Siempre que se utilicen microcontroladores de al menos 16 bits con interfaces conversores A/D y D/A y una arquitectura adecuada para procesar señales continuas  
 (3) Complementando al microcontrolador con un DSP

Ilustración 5. Comparativa de los distintos tipos de controlador

A lo largo de este capítulo se analizarán en detalle las características de los distintos tipos de autómatas programables y por qué son aptos para ser empleados en el control de viviendas y edificios.

## CONCEPTO DE AUTÓMATA PROGRAMABLE

### CONCEPTO TEÓRICO

Un PLC (Programmable Logic Controller) o autómata programable según la definición del estándar internacional IEC 61131 que normaliza las características fundamentales de los mismos tanto en su parte hardware como software, es una máquina electrónica programable capaz de ejecutar un programa, o sea, un conjunto de instrucciones organizadas de una forma adecuada para solventar un problema dado, y diseñada para trabajar en un entorno industrial y por tanto hostil. Las instrucciones disponibles para crear programas serán de una naturaleza tal que permitirán controlar procesos, por ejemplo: funciones lógicas, operaciones aritméticas, de conteo de eventos, de temporización, etc. Además, el PLC estará diseñado de forma tal que la conexión del mismo con el proceso a controlar será rápida y sencilla por medio de entradas y salidas de tipo digital o analógico.

#### **Definición IEC 61131**

Un autómata programable (AP) es una máquina electrónica programable diseñada para ser utilizada en un entorno industrial (hostil), que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas diversos tipos de máquinas o procesos.

**AP = PLC**

*Autómata programable = Programmable Logic Controller*



#### **Ilustración 6 ¿Qué es un autómata programable?**

Los APs surgen en EE. UU. hacia 1969 como respuesta al deseo de la industria del automóvil de contar con cadenas de producción automatizadas que pudieran seguir la evolución de las técnicas de producción y permitieran reducir el tiempo de entrada en producción de nuevos modelos de vehículos.

Los PLCs permiten por tanto a las empresas mejorar su competitividad al permitirles incrementar su productividad a unos costes adecuados y sin sacrificar la calidad, más bien al contrario, aumentándola.

Sus aportaciones son numerosas y se pueden analizar desde varios puntos de vista:

- Desde el punto de vista de la concepción del sistema automatizado:
  - Los PLCs son herramientas de fácil manejo por medio de software de programación y configuración.

- Facilitan el trabajo en el laboratorio. De esta forma permiten al ingeniero concentrarse en los algoritmos de control en un ambiente relajado. Además si se combina con el uso de maquetas o simuladores del proceso a controlar, este trabajo puede hacer que la fase de implantación y puesta en marcha se vea sumamente reducido. Además, los costes de desarrollo se ven también recortados al no hacerse dependiente la fase de ingeniería de la disponibilidad del proceso a controlar.
- Los PLCs son máquinas a medio camino entre la ingeniería eléctrica y la informática lo cuál permite a las empresas llevar a cabo una transición suave hacia nuevas tecnologías aplicadas al proceso productivo.
- Desde el punto de vista del mantenimiento:
  - No se requiere de personal altamente cualificado
  - Se puede adaptar y formar al personal del departamento de mantenimiento eléctrico para llevar a cabo las labores de mantenimiento de este tipo de dispositivos.
  - El interfaz hombre máquina de estos dispositivos es muy potente lo cuál facilita la labor tanto del personal de mantenimiento como del de producción.

## CONCEPTO GRÁFICO

Un PLC puede ser definido también desde un punto de vista gráfico como se muestra en la Ilustración 7.

No hay que perder de vista que los PLCs son la evolución natural del empleo de la tecnología eléctrica en el control de procesos al uso de la tecnología electrónica. De esta forma un PLC se puede entender como el dispositivo electrónico que viene a sustituir el conjunto de componentes eléctricos (relés, enclavamientos, etc.) que adecuadamente combinados implementan la lógica de un circuito de mando. Esa lógica será implementada en este nuevo dispositivo como un programa de control.

Es de destacar que aquellos componentes del circuito de mando empleados por el operador para comandar su funcionamiento como son pulsadores e interruptores fundamentalmente, seguirán presentes en la implementación mediante PLC cumpliendo la misma función. Asimismo, los componentes del circuito de mando empleados para mostrar información acerca del estado de activación o no de los componentes del circuito de fuerza o proceso, a saber lámparas, señalizadores acústicos, etc., también aparecerán conectados al PLC como salidas del mismo. Por último, los componentes del circuito de mando empleados para la activación de los elementos del circuito de fuerza como son relés y contactores, aparecerán también conectados al PLC como salidas del mismo.

Aparecen dos nuevos conceptos que hasta ahora con el empleo de la lógica cableada para implementar el control de procesos no existían: las entradas y las salidas del PLC.

Las entradas del PLC pueden definirse como los canales que le permiten adquirir información procedente de los sensores acerca de cómo se encuentra el proceso en cada momento.

Las salidas del PLC se pueden definir como los canales que permiten al PLC enviar órdenes de ejecución a los componentes del proceso empleando los preaccionadores y los accionadores del proceso. Es decir, que para poner en marcha un motor deberá existir un contactor conectado a una salida del PLC, de forma que cuando el PLC requiera de ese motor para que se ponga en marcha dará la orden al contactor para que este la transmita al motor.

El programa de control que finalmente ejecuta un PLC reside en su memoria. Para almacenar el programa en la memoria es necesario emplear un dispositivo de programación como más adelante en este capítulo se explicará.

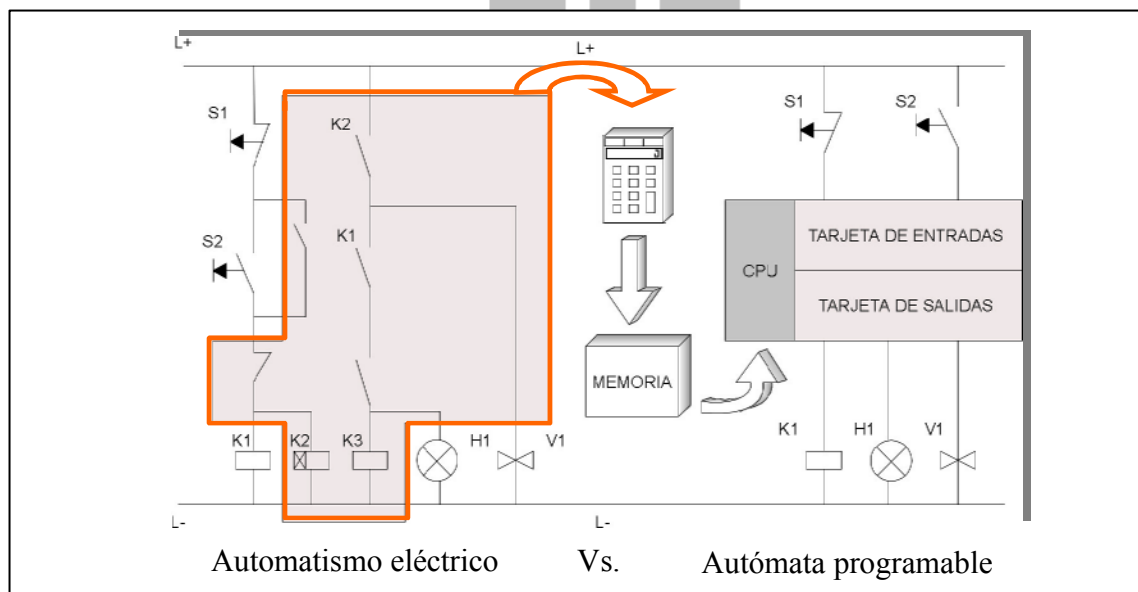


Ilustración 7 Concepto gráfico de PLC

## CÓMO FUNCIONA UN PLC

Un PLC una vez conectado a la red eléctrica tiene básicamente dos modos de funcionamiento:

- Stop. En este modo de funcionamiento no se ejecuta el programa de control.
- Run. En este modo de funcionamiento el programa de control se está ejecutando de manera indefinida hasta que o bien el PLC pasa al modo Stop o bien se desconecta de la alimentación.

Es obviamente este último modo de funcionamiento el más interesante. Cuando el autómata se encuentra en esta situación el programa de control que está grabado en su memoria se ejecuta **cíclicamente** describiendo lo que se ha dado en llamar **“Ciclo de Scan”**.

Un ciclo de scan consiste básicamente en cuatro pasos bien diferenciados:

1. Lectura de las entradas del PLC.
2. Ejecución del programa de control.
3. Escritura de las salidas del PLC.
4. Tareas internas del PLC.



## Lectura de entradas

Al comienzo de cada ciclo de scan, el sistema operativo del PLC comprueba el estado en el que se encuentran todos y cada uno de los elementos de entrada (sensores, pulsadores, etc.) que están conectados a los distintos módulos de entradas del PLC. Si un sensor está activado, el PLC pondrá un “1” lógico en una posición determinada de una zona de memoria especial llamada “Memoria de Entradas” o “Imagen del Proceso de Entradas”. Si por el contrario ese sensor no estuviese activado, entonces el PLC pondría un “0” lógico en la posición de memoria de entradas asignada para esa entrada. Si el sensor fuese analógico en vez de escribir un “1” o un “0”, se convertiría el valor de la magnitud física a un valor numérico que también se depositaría en una zona de la memoria de entradas analógicas.

Esta operación de lectura de las entradas conlleva un cierto tiempo para ejecutarse totalmente, el cuál debe ser tenido en cuenta a la hora de calcular la duración del ciclo de scan. En cualquier caso, este tiempo suele ser despreciable con respecto a la duración de la ejecución del programa de control.

Al hacer esta operación de lectura de todas las entradas al comienzo de cada ciclo se asegura que todas las instrucciones del programa de control son ejecutadas sobre una “imagen” del estado del proceso coherente. Es decir, que si una vez comenzado a ejecutar el programa de control, algún sensor del proceso cambiase de valor, este nuevo valor no se tomaría en cuenta hasta el siguiente ciclo. De esta forma se evitaría que una posible instrucción posterior que hiciese referencia a esa entrada no fuese coherente con otra instrucción ejecutada con anterioridad al cambio de valor en ese sensor.

## Ejecución del programa de control

Una vez que la memoria de entradas ha sido totalmente actualizada el sistema operativo del PLC, comenzará a ejecutar las instrucciones del programa albergado en su memoria de programa del PLC. Lo hará secuencialmente comenzando por la primera instrucción del módulo de programa que se considere el principal (cada fabricante lo designa de una forma distinta, por ejemplo en los PLCs de Siemens se le llama OB1).

La ejecución secuencial no implica ejecución lineal, es decir, que un programa puede contener instrucciones especiales que permitan hacer saltos hacia delante y hacia atrás, e incluso es posible que haya subrutinas e interrupciones. Pero en cualquier caso, la ejecución seguirá siendo secuencial siendo posible alterar esa secuencia de forma dinámica. Esa secuencia acabará teniendo una última instrucción que tras ser ejecutada pondrá fin a este paso del ciclo de scan.

Dado que la secuencia de ejecución de un programa puede ser alterado por medio de instrucciones de programa será posible hacer un programa de control que no termine nunca, lo que en informática se conoce como un “*bucle infinito*” que haga que el PLC se “cuelgue”. El autómatas dispone de mecanismos para detectar esta situación y provocar la finalización de la ejecución del programa, y será responsabilidad del programador contemplar esta anomalía para subsanar sus posibles efectos. Evidentemente lo deseable es no generar nunca un bucle infinito, máxime teniendo en cuenta que un PLC es un dispositivo dedicado a controlar un proceso y en caso de presentarse una situación de esta naturaleza, el proceso se descontrolaría poniendo en peligro la integridad de las personas y de la propia instalación.

La normal ejecución del programa de control hará que los valores de la memoria de datos del PLC vayan cambiando a medida que se avanza. Especial importancia tienen los cambios que se registren en la memoria de salidas ya que serán los que finalmente se traduzcan en acciones sobre el proceso. Por último es de destacar que la ejecución del programa de control durará una determinada cantidad de tiempo que será directamente proporcional a la velocidad del procesador (CPU) del PLC y que por tanto dependerá del modelo del mismo.

### **Escritura de salidas**

Cuando el sistema operativo del PLC detecta que se ha ejecutado la última instrucción del programa de control, éste comienza a revisar una por una todas las posiciones de su memoria de salidas. Si en una posición lee un “1” lógico, el PLC activará la salida correspondiente en el módulo de salidas. Es de esperar que conectado a ese módulo de salidas en esa posición concreta se encuentre un preaccionador o un accionador (por ejemplo una electroválvula) el cual al ser activará al ser activada esa salida llevando a cabo la acción correspondiente (por ejemplo cortar el paso de agua a la vivienda) sobre algún elemento del proceso.

Si el programa de control tras su ejecución genera señales analógicas en forma de valores digitalizados en la memoria de salidas analógicas del PLC, en esta fase son convertidas en valores determinados de corriente y tensión por medio de los módulos de salidas analógicas correspondientes. Estos valores de corriente y tensión provocarán una acción proporcional sobre algún componente del proceso.

Aunque este proceso consume cierta cantidad de tiempo, su duración es despreciable con respecto a la de la fase de ejecución del programa de control.

### **Tareas internas**

Antes de comenzar un nuevo ciclo de scan, el PLC necesita realizar ciertas tareas internas como por ejemplo comprobar si se han producido errores, almacenar la duración del ciclo de scan, actualizar valores internos de sus tablas de datos, etc.

De nuevo la duración de esta fase puede considerarse despreciable con respecto a las otras tres.

Una vez que esta fase ha terminado el sistema operativo del PLC comenzará a ejecutar un nuevo ciclo de scan.

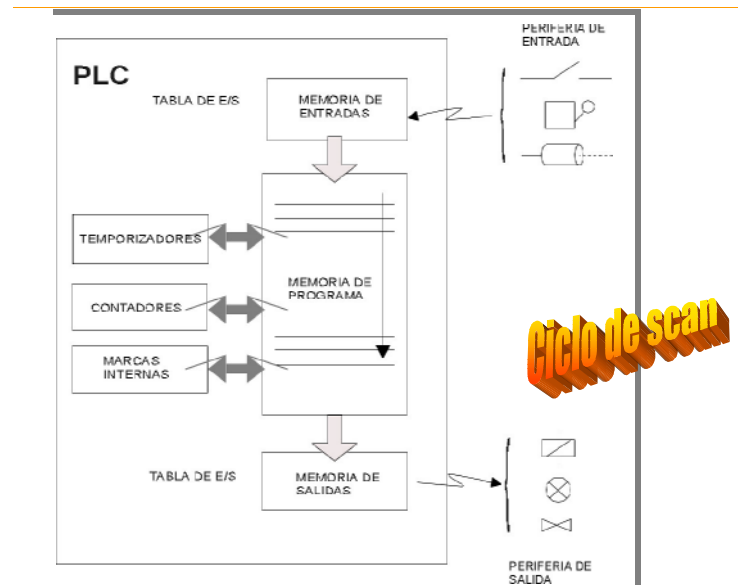


Ilustración 8 ¿Cómo trabaja un PLC?

### Perro guardian (Watch dog)

La suma de la duración de las cuatro fases de un ciclo de scan determina su duración. Es de destacar la vital importancia que para el correcto funcionamiento de un sistema automatizado tiene que la duración de un ciclo de scan sea la adecuada.

Lo ideal sería que esta duración fuese la menor posible, pero a medida que se vayan añadiendo instrucciones al programa de control su duración se verá incrementada pudiendo llegar a provocar el desfase del equipo de control con respecto al proceso.

Este mecanismo de control cíclico funciona correctamente siempre y cuando la velocidad de evolución del PLC sea superior a la del proceso. Si esto no fuese así podría llegar a suceder que una variable del proceso por ejemplo un sensor, se activase y desactivase en el mismo ciclo de scan. Teniendo en cuenta cómo funciona el PLC, esto provocaría que esa señal se “perdería” es decir, el PLC no sería consciente de que ese sensor ha cambiado dos veces de estado (porque la fase de lectura de entradas ya se habría ejecutado) por lo que el programa de control no daría una respuesta adecuada a esa nueva situación y el proceso se descontrolaría.

El sistema operativo del PLC proporciona una herramienta para tratar de paliar esta situación denominada “perro guardian” o “watch dog”. El perro guardián se puede configurar con un valor de tiempo dado. Si un ciclo de scan cualquiera dura más que el tiempo para el que el perro guardián está configurado, entonces el PLC lo detecta y da una señal de error que el programador deberá tratar adecuadamente.

## CLASIFICACIÓN

Como ya se ha explicado se ha producido una evolución tecnológica en los dispositivos electrónicos empleados para llevar a cabo el control de un proceso. Según su complejidad desde el punto de vista de la funcionalidad que aportan y el precio medio de mercado, se puede establecer una gráfica como la que se muestra en la Ilustración 9:

Los elementos más sencillos y baratos necesarios para poder implementar el control de un proceso son los contactores. Estos dispositivos han mantenido su función primitiva de servir de “enlace” entre el circuito de potencia y el de mando, ahora substituido por un equipo programable.

Les siguen los relés temporizados o temporizadores. Dependiendo de la complejidad de la instalación que se quiera automatizar esta funcionalidad puede ser implementada por medio de un relé físico o programada mediante un equipo de control programable. La diferencia fundamental está en el precio, siendo más baratos los primeros.

Con los “módulos lógicos” o también conocidos como “relés programables” se llega a la frontera entre el ámbito de la lógica cableada y el de la programada. Son estos dispositivos tan sencillos que a menudo son empleados para controlar pequeñas funciones de una instalación y combinados con módulos contactores y temporizadores. La diferencia con aquellos es que los módulos lógicos son programables mediante un sencillo y poco potente lenguaje. Su principal desventaja es que el número de señales que son capaces de manejar es limitado.

Cuando se requiere del dispositivo de control programable una mayor potencia de cálculo, un lenguaje de programación más potente, una mayor capacidad de conexión con elementos de campo (entradas y salidas), es necesario acudir a un PLC.

Dentro de los PLCs existen distintos tipos que por lo general se distinguen por el nivel de las propiedades enumeradas en el párrafo anterior. Cuanto mayor sea el nivel de prestaciones mejor será el PLC, o sea, mayor número de funcionalidades ofrecerá y por tanto más caro será. A los PLCs más básicos se les llama en ocasiones “micro PLCs”.



Ilustración 9 Controladores eléctricos y programables

En la siguiente figura pueden verse ejemplos de instalaciones y el tipo de equipo más indicado en cada caso.





 <p><b>Contadores Auxiliares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Múltiples contactos</li> <li>Enclavable</li> <li>Lógica funcional única</li> </ul> <p><b>Relés</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptación de nivel y aislamiento eléctrico desde / para PLC</li> <li>Conexión de pequeñas cargas monofásicas</li> </ul>	 <p><b>Temporizadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Retardo a la conexión: Arranque de motores paso a paso con supresión de interferencias</li> <li>Retardo a desconexión: Funciones de llave</li> <li>Estrella-Triángulo: Arranque retardado de motores con intervalos de conexión de 50ms</li> <li>Multi-función: Flexible para toda aplicación, hasta 8 funciones integradas</li> <li>Contactores de acción positiva: para circuitos seguros de categoría 2.</li> <li>Contactores dorados:</li> </ul>	 <p><b>Programador lógico</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Edificios: Control de Iluminación, Ventiladores, Control de Acceso, Equipos de seguridad</li> <li>Industria: Bombas/Compresores, Armarios, Control puertas, Sistemas de alimentación, Plataformas elevadoras, Control secuencial, Control de nivel, Control de válvulas, Plantas de llenado, Plantas de vaciado, Sistemas de transporte</li> </ul>	 <p><b>Micro-PLC</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Edificios y construcción: Ascensores, posicionadores, Elevadores</li> <li>Industria (máquina herramienta): Empaquetado y envasado, Maquinaria textil, Tratamiento de alimentos, Máquinas de corte, Paneles, displays, Atornilladores, Prensado y Fabricación de ladrillos, Pintura, Telecontrol, Sistemas de esterilización, Equipos de laboratorio, Máquinas de lavado</li> </ul>
---	--	---	---

Ilustración 10. Controladores eléctricos y programables: Campo de aplicación

## CARACTERÍSTICAS HARDWARE

El acrónimo PLC viene del Inglés “Programmable Logic Controller” o “Controlador Lógico Programable”. Como ya se indicó anteriormente los PLCs ocupan la posición más alta dentro de los distintos tipos de equipos de control programables. Aunque a su vez los PLCs pueden ser divididos en varias categorías dependiendo fundamentalmente de sus características hardware y software, todos exhiben una arquitectura similar como la detallada a continuación.

La arquitectura típica de un PLC (ver Ilustración 61) puede ser dividida en varios bloques claramente diferenciados:

- Fuente de alimentación. Es el corazón del PLC y nutre de energía eléctrica al resto de módulos del mismo y en ocasiones incluso a los sensores del proceso. Por lo general los PLCs funcionan internamente a 5V de corriente continua (DC), pero sin embargo no suele ser corriente alimentarlos directamente con fuentes de 5V DC, sino que se utilizan o bien fuentes que transforman de 220V de corriente alterna (AC) a 5V DC o bien de 24V DC a 5V DC. En el primer caso el PLC puede ser conectado directamente a la red eléctrica de la instalación. En el segundo caso se necesitará una fuente externa capaz de transformar la corriente de 220V AC de la instalación en 24V DC.
- Es muy importante dimensionar correctamente la potencia de la fuente de alimentación, o sea, la cantidad de corriente que es capaz de suministrar, sobre todo en el caso de que esta vaya a ser empleada además de para alimentar el PLC para alimentar parte de los sensores de la periferia.

- CPU. La Unidad Central de Proceso (Central Process Unit) es el cerebro del PLC. Este módulo presenta una arquitectura interna similar a la CPU de un PC. Está formada por un microprocesador, una unidad de memoria, una unidad aritmético lógica, y toda la circuitería necesaria para conectar todos estos componentes y permitir a su vez la conexión de la CPU con el resto de módulos del PLC.
- Rack o bastidor. El rack o bastidor es un soporte por lo general metálico sobre el cual se montan todos los módulos que componen el PLC (los enumerados hasta el momento y los siguientes). Puede entenderse como la columna vertebral del PLC. Sobre este soporte va adosado el bus de datos que permite llevar a cabo el intercambio efectivo de información entre todas las partes que forman el PLC así como alimentarlos con la energía eléctrica necesaria para su correcto funcionamiento. Los distintos módulos se conectarán a las bahías o slots que están fijados sobre el bastidor quedando fuertemente asidos al mismo por medio de algún mecanismo lo cual dota al PLC de gran robustez.
- Estos tres módulos son los componentes básicos necesarios para que el PLC pueda funcionar, pero para que su función sea efectiva, es decir, para que el PLC pueda hacer algo útil es necesario dotarle de algún medio para su interconexión con el proceso que se desea controlar. Para ello el PLC presenta una serie de entradas y salidas (E/S) agrupadas en módulos de distintos tipos dependiendo de su naturaleza.
- E/S digitales. Este tipo de módulos permite al PLC leer valores de sensores digitales del proceso y enviar órdenes hacia los componentes del proceso empleando como adaptadores de señal a los preaccionadores y accionadores. Todas estas señales serán de formato todo/nada, es decir, que permitirán intercambiar información que representa dos únicos posibles estados: presente y no presente. Es decir, para el caso de los sensores esta información indicará la existencia de un evento físico o no del proceso respectivamente. Y para el caso de los actuadores codificará la orden de actuar o no actuar respectivamente.
- E/S analógicas. Las señales todo/nada limitan en cierta medida la cantidad de información que el PLC recibe y envía al proceso. Si para una magnitud física del proceso se desea poder conocer desde el PLC todos sus posibles estados o valores entonces es necesario emplear un módulo de entradas analógicas. Este módulo estará formado internamente entre otras cosas por un conversor analógico digital (A/D) que transformará el valor de la magnitud física en cada momento en un número el cual será almacenado en la memoria de entradas analógicas del PLC para su posterior uso desde el programa de control. Si por el contrario el PLC desea enviar una orden mucho más rica en matices que un simple todo/nada (actuar/no actuar), es decir, se desea que sobre el proceso se lleve a cabo una acción proporcional como por ejemplo que la apertura de una válvula de agua sea intermedia para dejar pasar un determinado caudal, entonces será necesario emplear un módulo de salidas analógicas. Este tipo de módulos contiene internamente un conversor digital analógico (D/A) el cual transformará un valor numérico depositado por el programa de control en una posición de la memoria de salidas analógicas del PLC, en una corriente eléctrica proporcional (comprendida dentro de unos límites determinados) la cual será empleada para llevar a cabo la acción sobre el proceso.

- Otros módulos. En ocasiones se requiere del PLC que realice operaciones especiales que con los módulos anteriormente descritos no sería posible. En ese caso el PLC puede ser especializado mediante la conexión de módulos específicamente diseñados para llevar a cabo una acción concreta, por ejemplo: interconexión de PLCs, contaje de eventos de alta frecuencia, posicionamiento de ejes, arrancadores de motores, conexiones RS-232, etc.

Estos módulos son un concepto similar a las tarjetas que se emplean para aumentar las capacidades de un PC convencional, y al igual que estas se conectan a los puertos que queden libres en el bus del PLC del cual toman la alimentación eléctrica, y el cual emplean para intercambiar información con el resto de módulos del PLC.

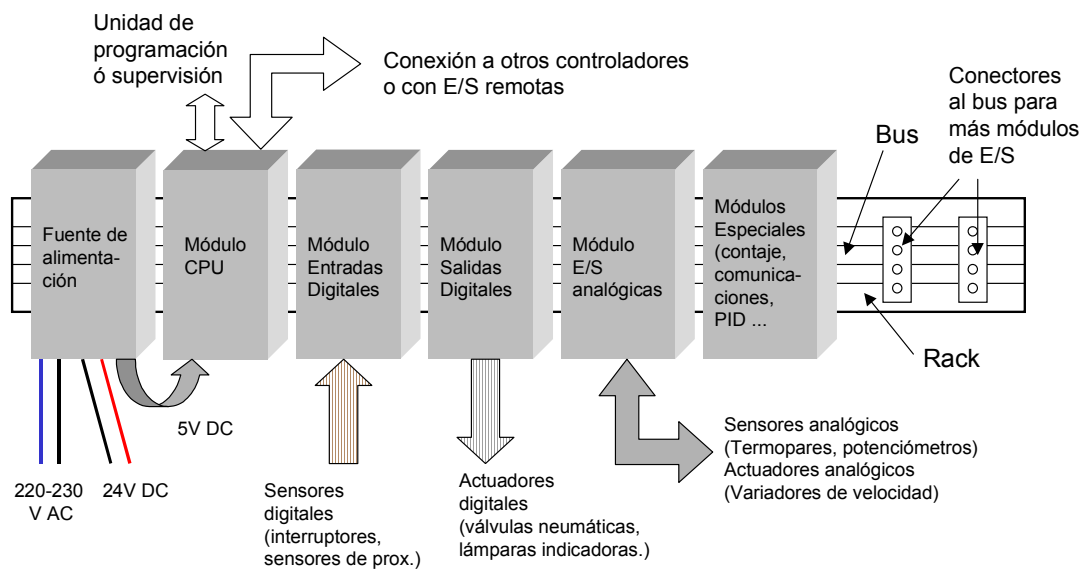


Ilustración 61 . Arquitectura típica de un autómata programable.

Aunque todos los PLCs tienen una arquitectura interna como la descrita hasta ahora, externamente suelen presentar una de dos posibles configuraciones:

- Compacta. En este tipo de PLCs todos los módulos anteriormente descritos están encapsulados bajo una misma carcasa plástica que hace del PLC un producto robusto y monolítico (Ilustración 17).

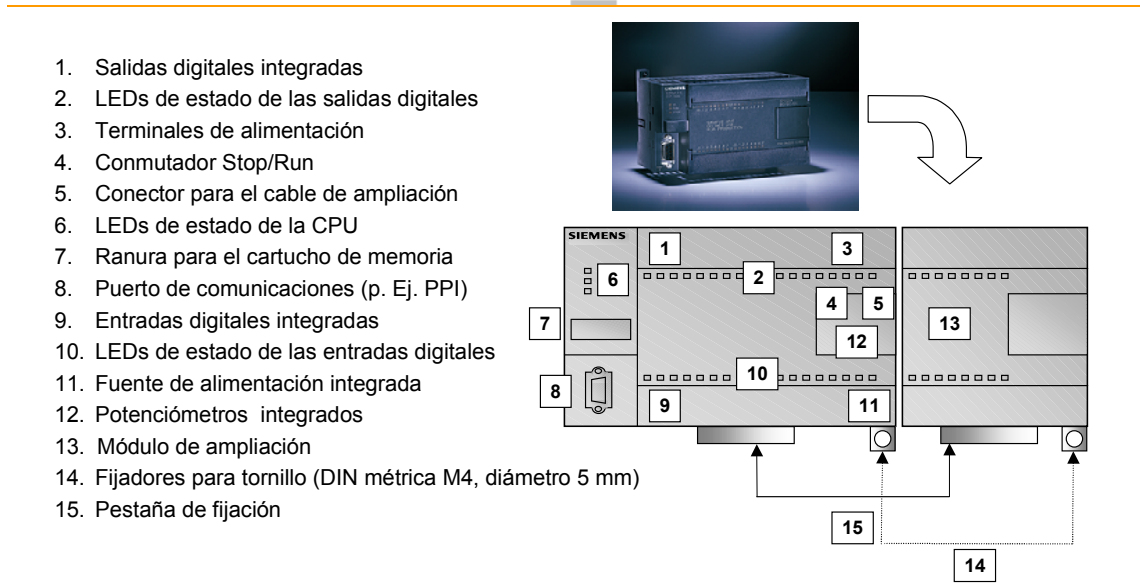


Ilustración 17 Ejemplo de arquitectura (I)

- Modular. En este tipo de configuración cada módulo del PLC debe ser adquirido por separado por lo que hay que tener en cuenta las posibles incompatibilidades entre los distintos modelos, para posteriormente ser ensamblados para formar el PLC deseado. Esta configuración permite tener un PLC mucho más adaptado a las necesidades reales, pero por lo general suele ser una solución más cara. Este tipo de configuración se suele emplear en modelos de PLC de gama alta donde el precio no es el inconveniente mayor (ver Ilustración 18).



Independientemente de que el formato del PLC sea compacto o modular por lo general todos suelen ser ampliables mediante módulos adicionales que deben ser adquiridos aparte. La diferencia entre unos y otros está en el precio y en que por lo general los compactos suelen estar más limitados a la hora de su posible ampliación.

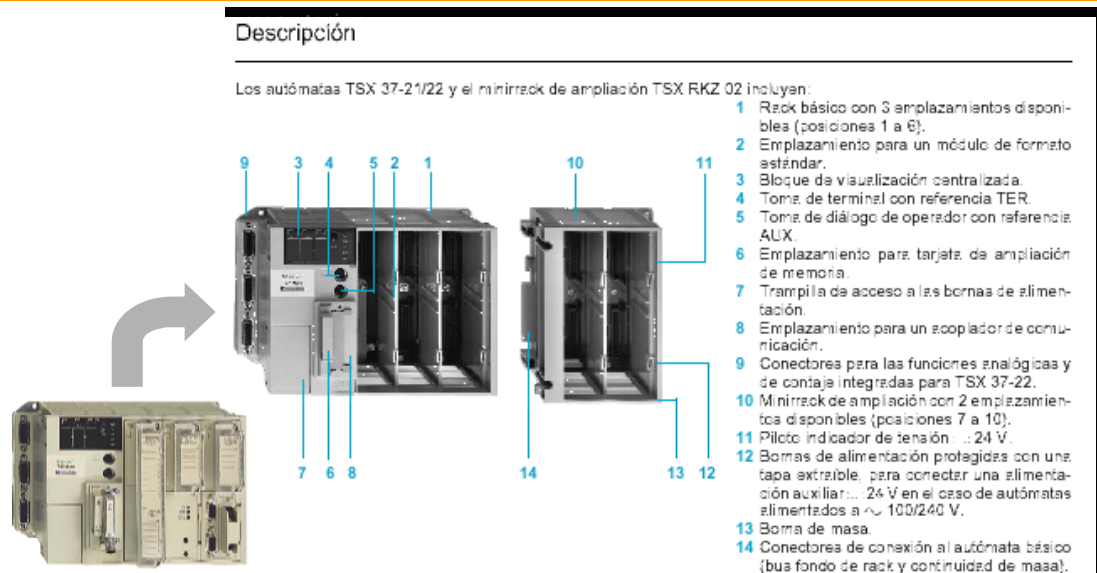


Ilustración 18 Ejemplo de arquitectura (II)

## LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Los lenguajes de programación de PLCs han sufrido una evolución paralela a la de los propios equipos a lo largo del tiempo.

### Diagrama de escalera

Con la aparición de los primeros PLCs hacia 1969 el lenguaje de programación diseñado era el denominado diagrama de escalera (Ladder Diagram -LD-) muy próximo a los diagramas eléctricos empleados para representar los esquemas de lógica cableada utilizados para controlar procesos hasta aquel momento.

Se pretendía que la transición de una tecnología a otra fuese lo más suave posible de esta forma todo el personal de las empresas con una alta cualificación en sistemas de lógica cableada podrían ser fácilmente formados y adaptados a los nuevos sistemas de lógica programable, permitiendo a las empresas abaratar la transición hacia un nuevo modelo de automatización de procesos.

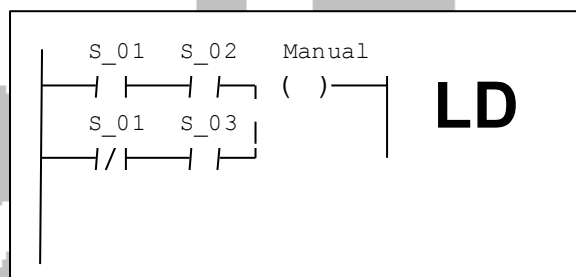


Ilustración 19 Diagrama de escalera

### Lista de instrucciones

El lenguaje de lista de instrucciones (Instruction List -IL-) es el lenguaje de programación de PLCs más potente de los que existe. Es un lenguaje literal de bajo nivel parecido al lenguaje ensamblador empleado para la programación de microcontroladores.

Es un lenguaje cuyo origen está en Alemania de la mano de Siemens y sus primeros autómatas. Este lenguaje se basa en la utilización de un mnemónico que representa la instrucción seguido del operando u operandos sobre los que se aplica. El resultado de la operación puede ser almacenado sobre uno de los operandos o sobre alguno de los registros o la pila que emplea el equipo. Cada línea del programa contiene una única instrucción y su ejecución es secuencial comenzando por la primera de la lista. Todos los programas escritos en cualquiera de los otros lenguajes puede ser finalmente traducido a IL.

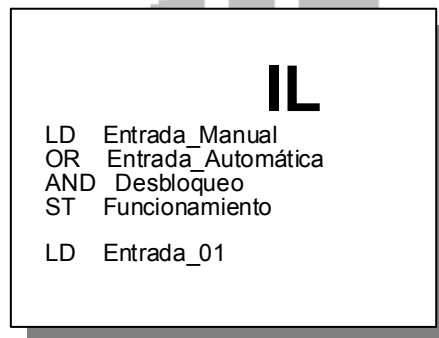


Ilustración 110 Lista de Instrucciones

### Diagrama de bloques funcionales

El lenguaje de los diagramas de bloques funcionales (Function Block Diagram -FBD-) es un lenguaje gráfico que surge como una evolución de los diagramas empleados por los ingenieros electrónicos para representar los circuitos lógicos. En estos las puertas lógicas son representadas mediante símbolos estandarizados. Un circuito electrónico puede ser encapsulado en un integrado el cual puede ser utilizado en un nuevo diagrama mediante un símbolo adecuado. El lenguaje FBD sigue las mismas pautas. Cada operación es representada por un símbolo normalizado. Un conjunto de operaciones que llevan a cabo una función específica se pueden agrupar formando una subrutina o bloque el cual pasa a tener un símbolo asociado que puede ser empleado en otro segmento de programa tantas veces como se quiera. Sólo es necesario seguir unas pautas sintácticas y semánticas a la hora de construir los diagramas.

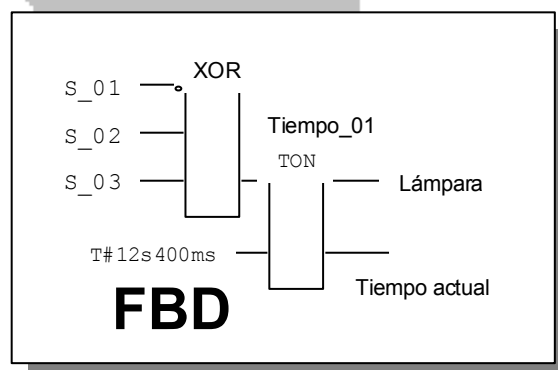


Ilustración 111 Diagrama de bloques funcionales

## Texto estructurado

El texto estructurado (Structured Text -ST-) es un lenguaje literal de alto nivel que surge de adaptar el lenguaje Pascal empleado en la programación de PCs a las necesidades propias del control de procesos.

Es un lenguaje muy potente especialmente indicado para la representación de algoritmos de control complejos en los que sea necesario emplear bucles, condicionales, etc.

```
IF Data = "EOF" THEN
  FOR Index:=1 TO 128 DO
    X:=Read_Data(Datenfeld[Index]);
    IF X > 2500 THEN Alarma:=TRUE;
  END_IF;
END_FOR;
END_IF;
```

**ST**

Ilustración 112 Texto estructurado

## SFC

El lenguaje de los diagramas funcionales secuenciales (Sequential Function Chart - SFC) surge como una evolución del lenguaje de modelado de sistemas secuenciales GRAFCET (estándar internacional IEC 848). El último no es un lenguaje de programación (aunque sea posible extraer un programa de los diagramas escritos en este lenguaje) mientras que SFC sí lo es con todas las connotaciones que ello supone. SFC proporciona al ingeniero un potente lenguaje para la representación de automatismos secuenciales.

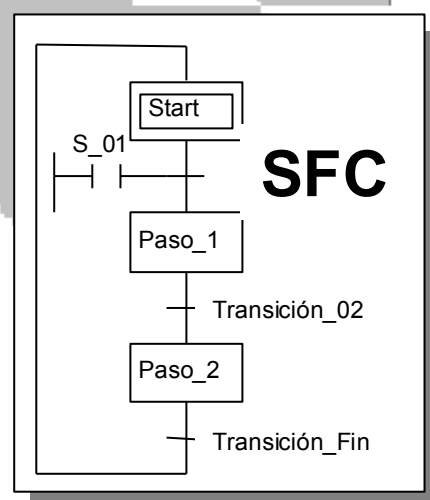


Ilustración 113 Diagrama Funcional-Secuencial (SFC)

SFC surge del esfuerzo del organismo internacional denominado Comisión Electrotécnica Internacional (International Electrotechnical Commission -IEC-) cuyo objetivo era la publicación de un estándar que normalizase los PLCs desde el punto de vista hardware y software. Este estándar está dividido en varias partes y es la tercera (IEC 61131-3) la que hace referencia a los lenguajes de programación. Esta norma recogió los cuatro lenguajes clásicos más empleados en la programación de PLCs y les añadió una nueva versión de GRAFCET que le daba carácter de lenguaje de programación, permitiendo además la utilización de cualquiera de los cinco lenguajes para codificar cualquier módulo de programa que fuese necesario. Cualquiera de estos módulos independientemente del lenguaje en que hubiese sido escrito debe poder ser empleado desde cualquier otro módulo de programa.

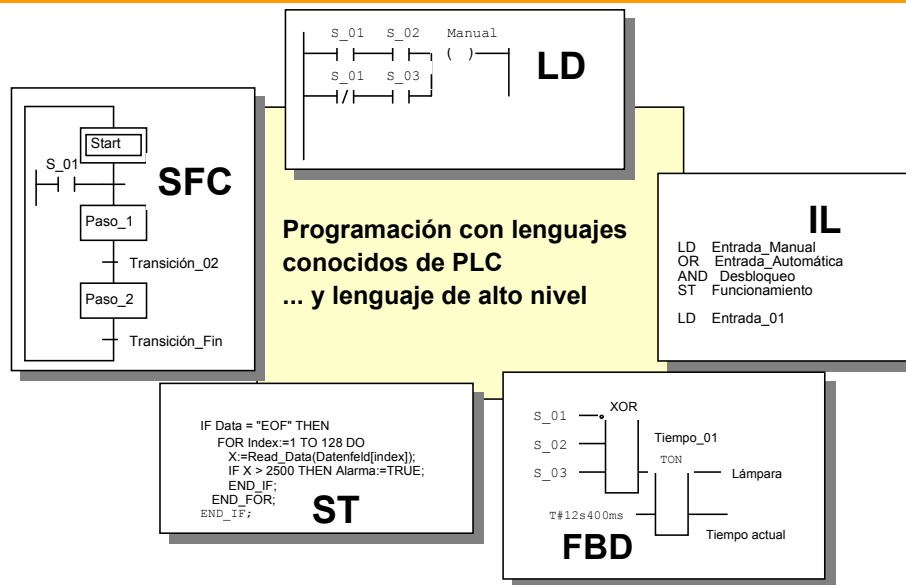


Ilustración 114 Lenguajes de programación

## CRITERIOS DE SELECCIÓN

A la hora de seleccionar qué autómatas programables utilizar para llevar a cabo el control de una instalación se deben analizar una serie de criterios que pueden ser agrupados en dos categorías: cuantitativos y cualitativos.

### CRITERIOS CUANTITATIVOS

Dentro de estos criterios se pueden englobar todas aquellas características que definen a este tipo de equipos y que pueden ser medidas y por tanto comparadas, a saber:

- *Ciclo de Ejecución.* Mide el tiempo que el autómata tarda en ejecutar una instrucción o un Kbyte de instrucciones. Depende directamente de la velocidad de la CPU del equipo e influirá directamente en el ciclo de scan.
- *Capacidad de entradas/salidas.* Define el número de E/S que se pueden conectar a un equipo. Determina por tanto la capacidad del equipo para conectarse con el proceso.
- *Características de las entradas/salidas.* Determina el tipo de E/S que se pueden conectar al autómata. Determina por tanto la forma en que el equipo se relaciona con el proceso.
- *Módulos funcionales.* Algunos tipos de acciones que se pueden llevar a cabo sobre el proceso como por ejemplo el posicionamiento de ejes, el control de procesos continuos, la noción del tiempo, etc., requieren de módulos especiales que pueden ser añadidos al autómata para complementarlo pero que en su configuración básica quizá no tenga.
- *Memoria de programa.* Define el tamaño de la memoria del autómata programable y al igual que en el caso de los PCs, ésta se mide en bytes o múltiplos de bytes.
- *Conjunto de instrucciones.* No todos los autómatas son capaces de ejecutar los mismos tipos de instrucciones. Por ejemplo, no todos los autómatas son capaces de realizar operaciones en coma flotante. Esta característica determinará la potencia del equipo para afrontar el control de ciertos tipos de procesos.
- *Comunicaciones.* Otra de las características más importantes a la hora de poder establecer comparaciones entre autómatas es la capacidad que tengan para intercambiar información con otros autómatas u otros módulos de E/S.
- *Periferia y programadoras.* Los autómatas programables pueden ser complementados con dispositivos auxiliares que sin ser esenciales para llevar a cabo su principal función (controlar un proceso), si facilitan ciertas tareas secundarias.

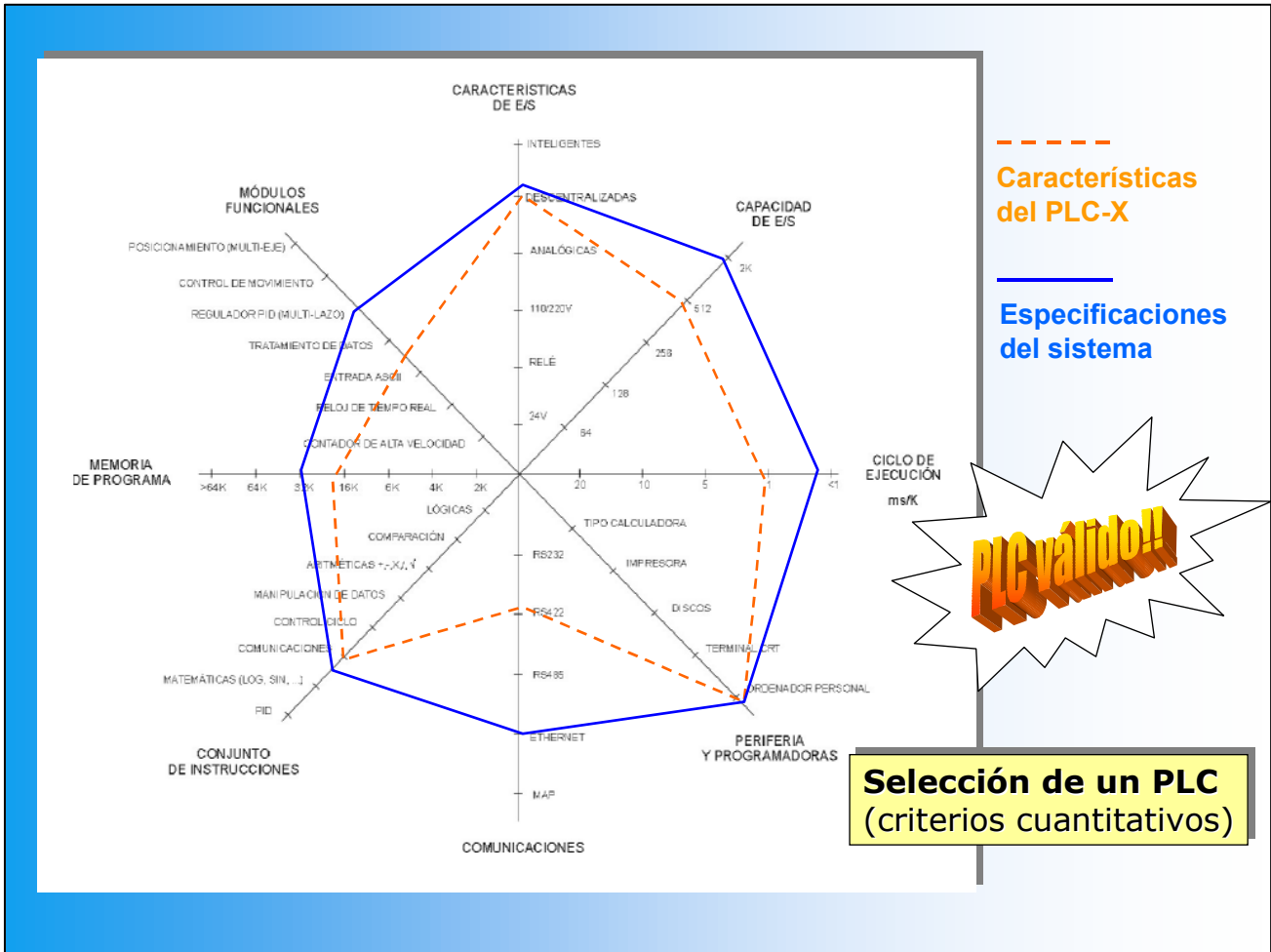


Ilustración 20 Criterios cuantitativos para la selección de un PLC

De forma gráfica se puede confeccionar un diagrama que permite comparar de manera visual varios autómatas programables para determinar cuál es el que mejor se adapta a nuestras necesidades.

Como se puede observar en el gráfico anterior, en cada eje del mismo se encuentran representadas las características enumeradas. Estas aumentan en capacidad a medida que se alejan del centro del mismo. Si para cada autómata de los que se pretenden comparar se establece una marca en cada eje en el punto más exterior que por sus características llega a alcanzar, y posteriormente se unen todos estos puntos con una línea recta, se obtendrá un polígono octogonal. El polígono que mayor área tenga representará al autómata más potente.

En la mayoría de los casos para llevar a cabo la elección final del tipo de autómata es necesario tener en cuenta otros criterios que son difícilmente medibles y por tanto comparables. Son los llamados criterios cualitativos.

## CRITERIOS CUALITATIVOS

Como su propio nombre indica son criterios que hacen referencia a aspectos que determinan en cierta medida la calidad del autómeta. Son por ejemplo:

- *Ayudas al desarrollo de programas.* Hace referencia a la cantidad de información y ayuda que presta la empresa distribuidora del equipo a nivel local o estatal. Hoy en día con el desarrollo de Internet gran parte de esta información estará recogida en páginas web del fabricante. Será pues importante evaluar el idioma en que están escritas, la facilidad para encontrar la información buscada en las mismas y la capacidad de esta información para resolver problemas reales. A veces esta información no es suficiente y se hace necesario contactar con algún especialista que haya sufrido el mismo problema que nosotros pretendemos resolver y que por tanto tenga la solución para el mismo. Por desgracia este tipo de criterio es difícil de evaluar a priori, es decir, que por lo general es más fácilmente evaluable cuando se presentan los problemas y hay que resolverlos para lograr poner en marcha la automatización.
- *Fiabilidad del producto.* Es una característica muy importante que hace referencia directamente al funcionamiento del autómeta. Por lo general la marca o nombre del fabricante del equipo es un aval suficiente para conocer el grado de fiabilidad del mismo.
- *Servicios del suministrador.* Es muy importante evaluar qué servicios extra aporta el distribuidor del equipo a nivel local o nacional, tales como: cursillos de formación, su precio, el lugar de impartición y el número de fechas disponibles, capacidad para aportar recursos humanos, capacidad para aportar recursos técnicos, etc.
- *Normalización en planta.* Esta característica hace referencia a la capacidad del equipo para ser conectado e intercambiar información de manera correcta y efectiva con el resto de dispositivos y equipos que ya estén instalados en una planta dada. Vendrá determinada por la capacidad del autómeta de soportar estándares internacionales de comunicación, de programación, de conexión, de arquitectura, etc. Hoy en día cada vez más fabricantes soportan mayor número de este tipo de estándares, pero la tendencia en el pasado reciente era hacia la “fidelización” del cliente mediante el empleo de sistemas de comunicación y arquitecturas totalmente incompatibles con las del resto de fabricantes de autómetas. De esta forma el único modo de conseguir tener una planta “normalizada” era en base a instalar siempre los equipos del mismo fabricante.
- *Compatibilidad con equipos de otras gamas.* Ahondando en el punto anterior, incluso puede darse el caso en que dos equipos del mismo fabricante pero de gamas distintas no sean compatibles entre sí, desde el punto de vista de la conexión y la capacidad de comunicación.
- *Coste.* Aunque el precio de un producto es un criterio cuantitativo que puede ser medido y comparado, su coste o valor apreciado no lo es. Este hace referencia a la apreciación de cuánto caro o barato le parece a una persona un producto. Lo que a una persona le parece caro a otra le puede parecer barato. Esta diferencia de apreciación suele venir marcada por que en la balanza de cada persona el peso de ciertos criterios es mayor o menor dependiendo de su experiencia o necesidades. En el caso de los autómetas programables, el resultado de este criterio vendrá dado por la correlación entre el coste del equipo y el resto de características cualitativas del mismo.



Estas características cualitativas a la larga acaban convirtiéndose en las más importantes a la hora de seleccionar no tanto qué equipo adquirir sino de qué fabricante en cuestión. Esto es debido fundamentalmente a que hoy en día todos los fabricantes proporcionan equipos con características cuantitativas muy similares, y con una alta gama de formatos. Esto hace que el punto de vista cuantitativo no sea determinante a la hora de seleccionar el autómatas programable más adecuado.

