

EETP No 285 "Domingo Crespo"

Sistemas de Control y Automat

Curso: 6to Año

Docente: Alvarez Jorge

SISTEMAS AUTOMÁTICOS DE CONTROL

Son aquellos sistemas formados por componentes físicos, conectados de tal manera que puedan comandar, dirigir o regular a si mismo o a otro sistema.

CONCEPTOS REALACIONADOS CON LOS SISTEMAS DE CONTROL

- En la industria actual los sistemas empleados son de este tipo. Los mismos los podemos relacionar con: **paro y ocio.**
- Algunos conceptos relacionados con los sistemas de control son:
 - Planta y proceso
 - Perturbación
 - Señal de mando
 - Selector de referencia
 - Entrada de referencia
 - Unidad de control
 - Elemento de realimentación
 - Señal activa.

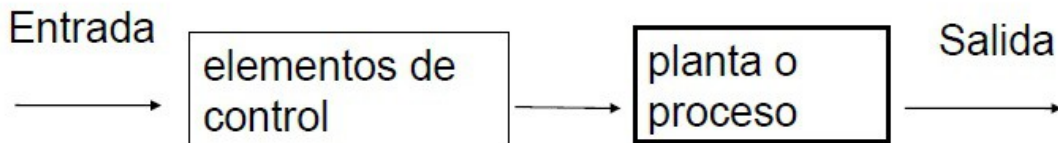
CLASIFICACIÓN SEGÚN NATURALEZA

- **NATURALES:** Son aquellos que tienen lugar en los seres vivos.
- **REALIZADOS POR EL HOMBRE:** Un ejemplo sencillos podría ser un control de temperatura.
- **MIXTOS:** Es el formado por el conjunto de una máquina y el hombre (conducción de un vehículo).

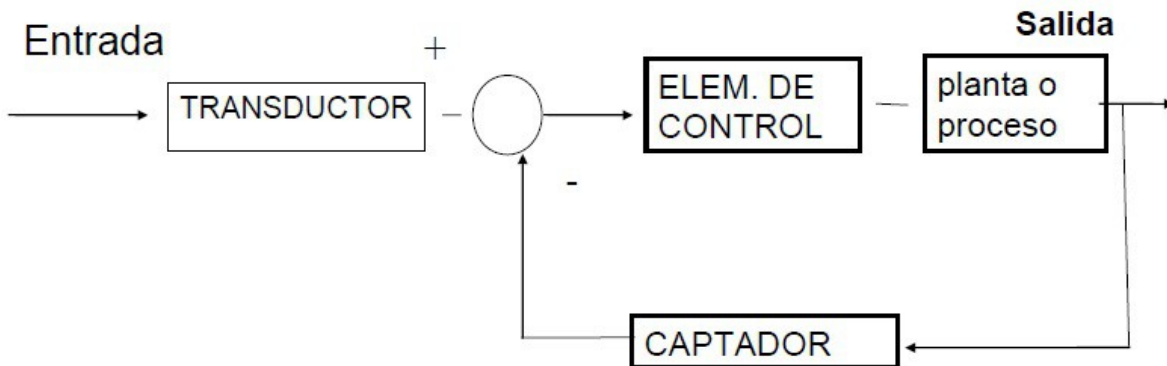
TIPOS DE SISTEMAS DE CONTROL

- **SISTEMAS DE LAZO ABIERTO:** La señal de salida no influye sobre la señal de entrada.
- **SISTEMAS DE LAZO CERRADO:** Parte de la señal de salida se recoge (realimenta) en la entrada. La señal de salida depende de la de entrada y de los estados anteriores de la salida.

S. DE CONTROL DE LAZO ABIERTO



S. DE CONTROL DE LAZO CERRADO



SISTEMAS DE CONTROL DE LAZO CERRADO

- ▢ **El captador** se encarga de recoger la información de salida (velocidad, temperatura por ejemplo) y convertirla en una señal similar a la de *referencia* con la que se compara (tensión).
- ▢ **El comparador** se encarga de restar las señales de referencia y realimentada del captador, la diferencia es *la señal activa o de error* que actúa sobre el regulador
- ▢ **El regulador o controlador** suministra la señal sobre el sistema para que este actúe según sea necesario. El regulador y comparador pueden estar formado por un mismo elemento (puede ser un regulador, mecánico, eléctrico, hidráulica, neumático etc.)

SISTEMAS DE CONTROL LAZO CERRADO

SISTEMA ESTABLE

- ▢ Cualquier perturbación (cambios en las condiciones externas o internas en el sistema) o variación de la señal de mando, actúa sobre el regulador.
- ▢ El regulador tarda un tiempo en dar la respuesta ante estas variaciones.
- ▢ Si la respuesta es muy rápida provoca una oscilación del sistema. Este tiempo sería el periodo transitorio. Para que el sistema sea **estable** la oscilación debe desaparecer. Si no desaparece y aumenta con el tiempo el sistema es **inestable**.

FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

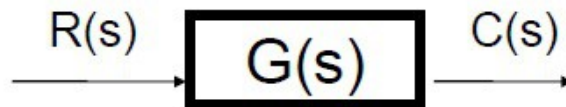
Es el cociente entre las transformadas de Laplace de las señales de salida y de entrada:

$$G(s) = C(s) / R(s)$$

- ▢ Es la relación entre la señal de salida y la señal de entrada de un sistema.
 - ▢ La función de transferencia viene dada por una expresión matemática, más o menos compleja, dependiente del tiempo.
 - ▢ El análisis de la misma permite estudiar un sistema y verificar su estabilidad.
- Es el cociente entre las transformadas de Laplace de las señales de salida y de entrada:
 $G(s) = C(s) / R(s)$

DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES

- ▢ Es una forma simplificada de representar un sistema automático de control. Nos permite averiguar fácilmente la función de transferencia.
En los mismos aparecen la circulación de señales mediante flechas



FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA

$$G(s) = C(s)/R(s)$$

DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES

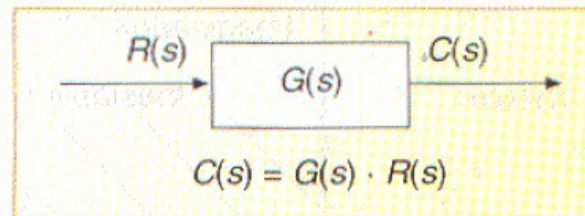
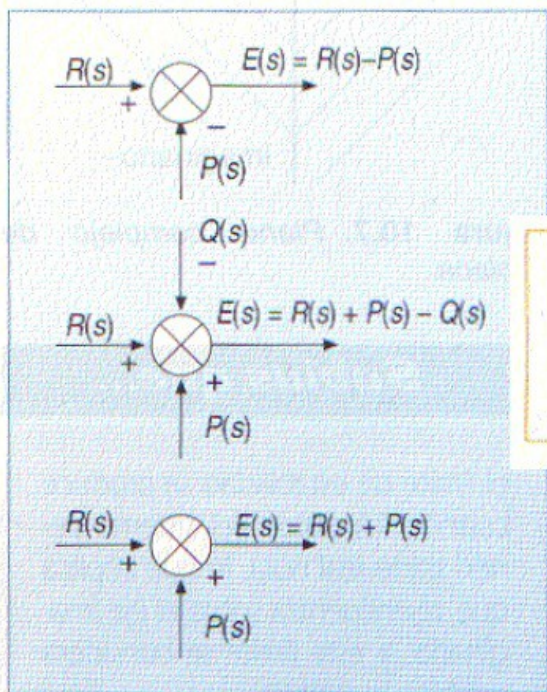


DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES

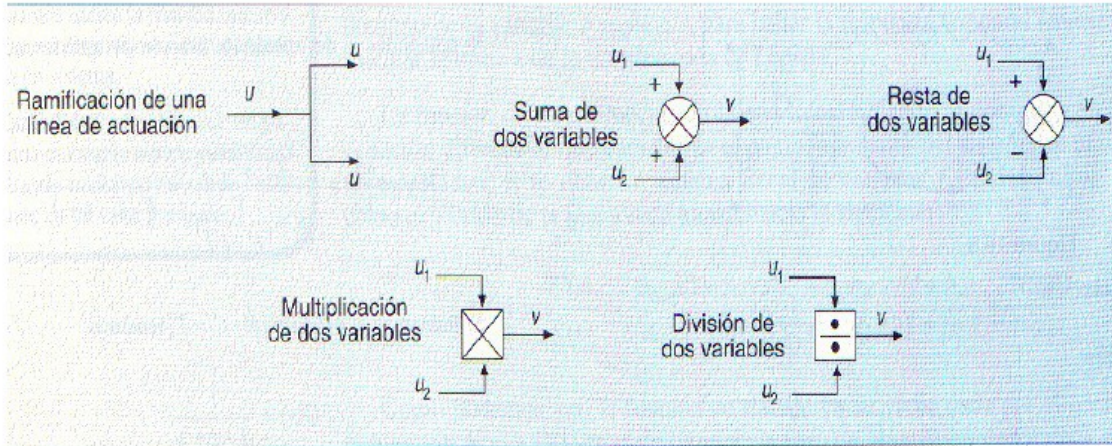


DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES

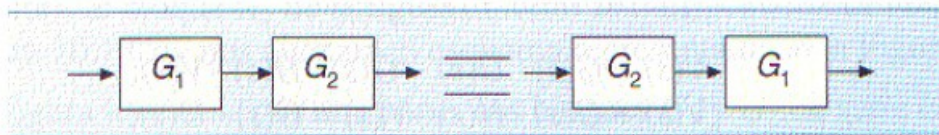
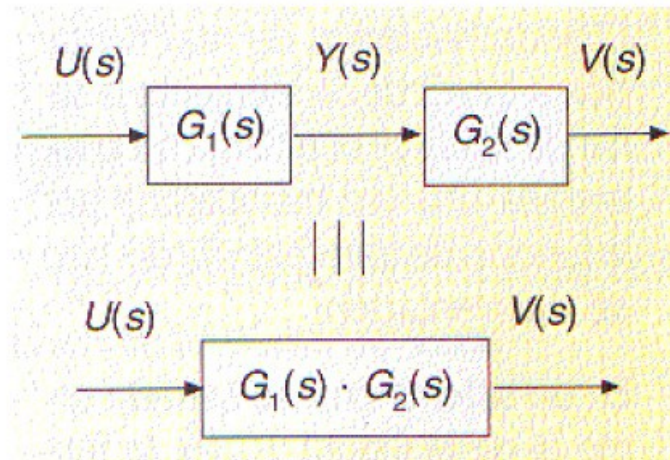


DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES

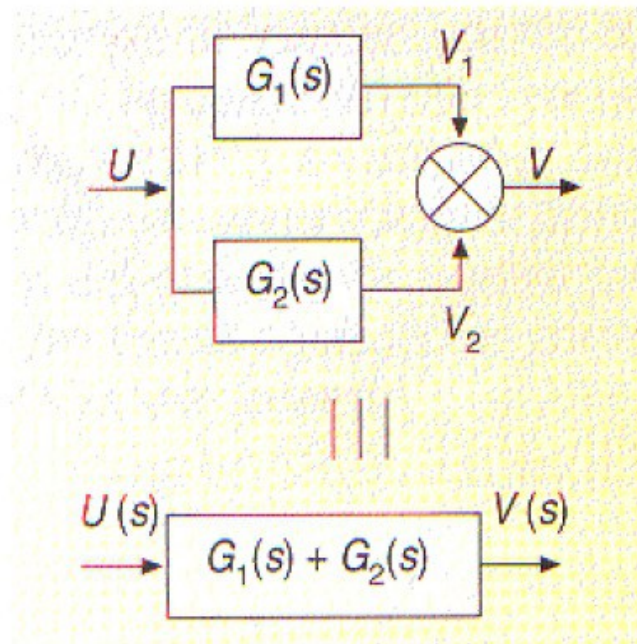
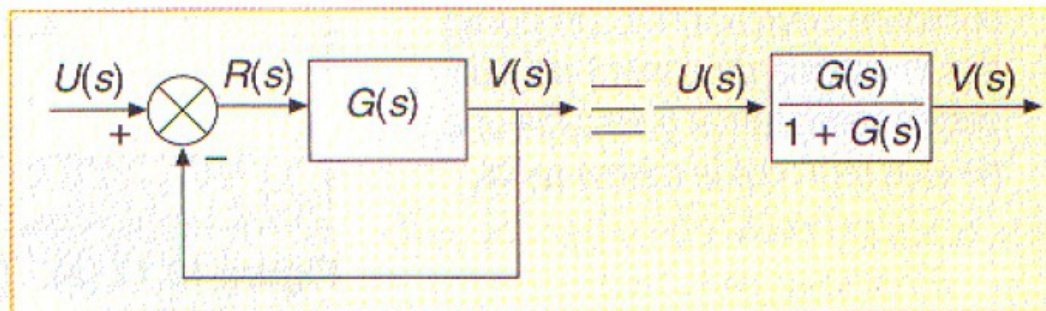


DIAGRAMA FUNCIONALES O DE BLOQUES



ESTUDIO DE LOS SISTEMAS DE CONTROL

- ▢ Los bloques funcionales pueden simplificarse llegando a un bloque único que representará la función de transferencia.
- ▢ Estas funciones pueden estudiarse mediante diferentes procesos matemáticos, obteniendo datos significativos sobre la estabilidad del sistema.

TIPOS DE CONTROL

El control industrial en los procesos industriales, siempre ha sido preciso. Antes los ajustes necesarios los realizaba un operario (**control manual**).

En la actualidad las diferentes variables son controladas por el mismo sistema (**control automático**)

REGULADOR O CONTROLADOR

- ▢ Es el dispositivo que se encarga de recoger la señal activa (procedente del comparador) y actuar sobre la planta o proceso (parte principal del sistema), para llevar el sistema al estado deseado.

TECNOLOGÍAS UTILIZADAS

- ▢ En principio los reguladores trabajaban con señales analógicas y los circuitos empleados emplean tecnología neumática, hidráulica, eléctrica o mecánica.
- ▢ Posteriormente con los semiconductores se emplea un control analógico (amplificadores operacionales, calculadores analógicos).
- ▢ Por último con la utilización del microprocesador se emplea un control digital con circuitos digitales.

CONTROL ANALÓGICO Y DIGITAL

- ▢ **CONTROL ANALÓGICO:** Se trabaja con señales analógicas (son señales variables con respecto al tiempo, entre dos valores cabe la posibilidad de encontrar infinitos valores).
- ▢ **CONTROL DIGITAL:** Se trabaja con señales digitales. Estas señales llevan la información codificada en forma de niveles altos o bajos de señal (dos valores).
- ▢ Las señales físicas son analógicas. Es necesario convertirlas en digitales .

TIPOS DE CONTROL

- ▢ **PROPORCIONAL:** La relación entre la entrada de error y la salida del regulador, es una constante. Esta constante será la amplificación o ganancia del regulador. Si la ganancia es apreciable, el sistema puede salirse de sus rangos máximos. La respuesta proporcional produce un error que necesita sucesivos reajustes.

CONTROL INTEGRAL

- ▢ El regulador actuará en función de la magnitud de la señal de error y el tiempo en que este se mantiene.
- ▢ Normalmente este control va acompañado de un control proporcional

CONTROL DERIVATIVO

- ▢ La salida es proporcional a la variación de la señal de error.
- ▢ Si la variación de la señal de error es brusca puede causar cambios bruscos en el sistema. Este control se emplea en cambios de la señal activo lentos.
- ▢ En un sistema nos podemos encontrar juntos los tres sistemas el P I y D
(**SE DESARROLLA EN PÁGINA 39**)

TRANSDUCTORES, CAPTADORES Y SENSORES

- ▢ **SENSORES:** Captura la información del exterior y la suministra al transductor o captador
- ▢ **TRANSDUCTORES:** Nos suministran determinada información. Una variable física de **entrada** proveniente de un sensor (un nivel de agua) lo transforma en una señal comprensible por el sistema (señal eléctrica).
- ▢ **CAPTADORES:** Su función es similar al anterior, la diferencia es que este **toma la señal de la salida** del sistema y la introduce en el comparador.

CONCEPTOS RELATIVOS A LOS SENSORES

- ▢ **Rango de medida:** Diferencia entre el valor máximo y mínimo a medir por el transductor.
- ▢ **Sensibilidad:** Relación entre la señal de salida del transductor y su entrada.
- ▢ **Resolución:** Variación más pequeña detectable.
- ▢ **Histéresis:** Es la diferencia entre la señal de salida medida para una misma magnitud de entrada, como consecuencia de dar una medida diferente ascendente o descendente.

CLASIFICACIÓN SEGÚN TIPO DE SEÑAL

- ▢ **ANALÓGICOS:** Dan como salida un valor de señal variable en forma continua dentro del campo de medida.
- ▢ **DIGITALES:** La salida es una señal codificada en forma de pulsos o en forma de una palabra digital codificada en binario.
- ▢ **TODO-NADA:** Indica solo cuando la variable detectada sobrepasa un nivel. Sería un caso límite de sensor digital con solo dos niveles
- ▢ **De posición/desplazamiento:** Finales de carrera mecánicos, detectores de proximidad, inductivos, capacitivos y ópticos, detectores lineales y detectores angulares
- ▢ **De velocidad:** Tacómetros, ópticos
- ▢ **De presión:** piezoeléctricos, inductivos
- ▢ **De temperatura.** Etc

TIPOS DE TRANSDUCTORES

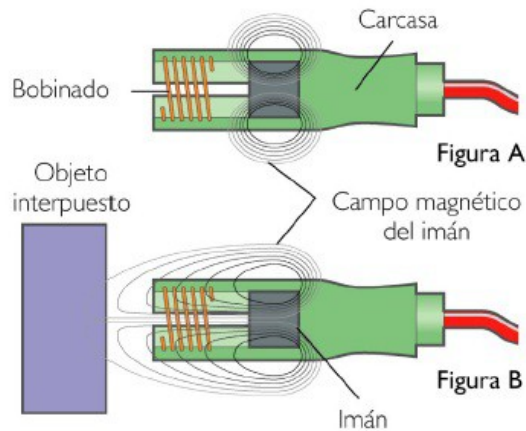
FINALES DE CARRERA

- ▢ **Finales de carrera:** Nos indican el final de un desplazamiento.
- ▢ Pueden ser:
 - * **Mecánicos:** se trata de un interruptor mecánico con funcionamiento eléctrico, neumático o hidráulico

FINALES DE CARRERA INDUCTIVOS

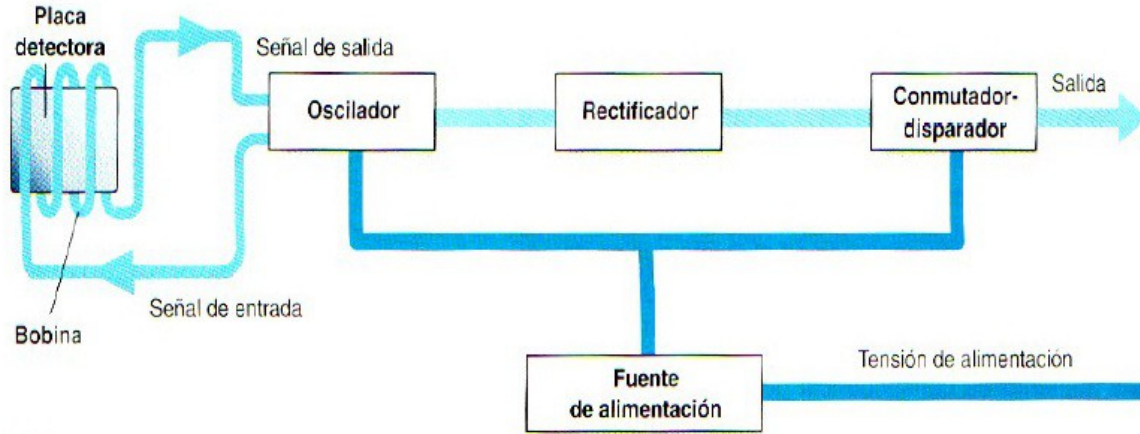
- La variación de un campo magnético frente al objeto permite la detección del mismo.
- Detectores inductivos sensibles a materiales ferromagnéticos: Se emplea cuando hay que detectar materiales ferromagnéticos.
- Detectores inductivos sensibles a materiales metálicos: Se emplean con materiales capaces de producir pérdidas por efecto Foucault, su elemento principal es un circuito resonante.

FINALES DE CARRERA INDUCTIVOS

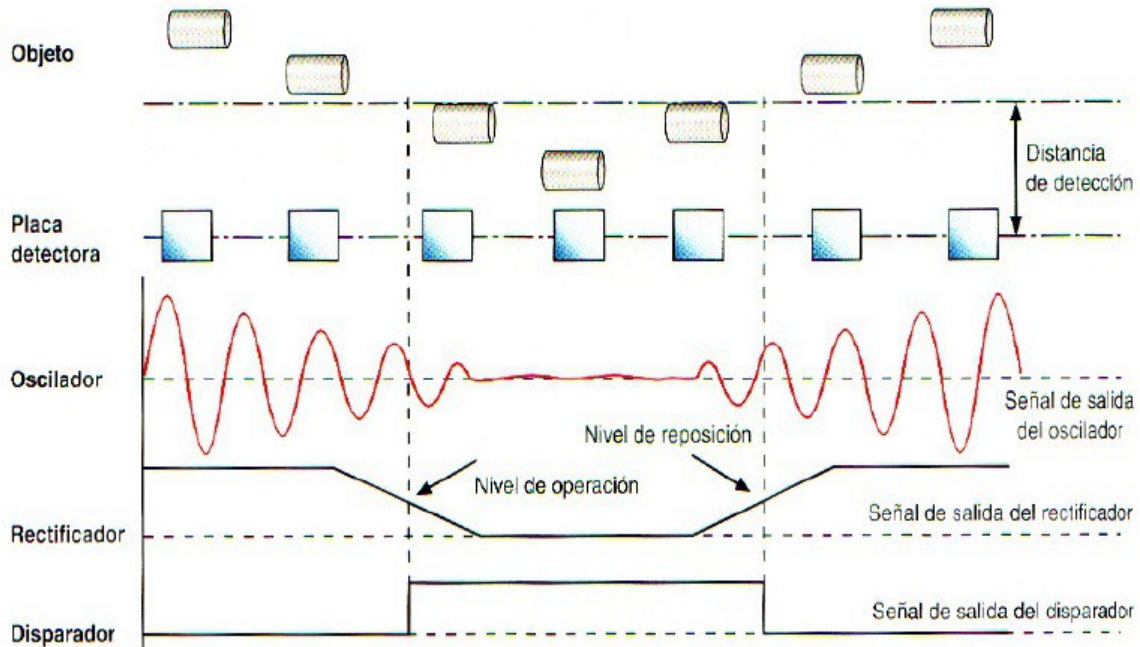


El objeto metálico, crea una **deformación del campo magnético**, lo que creará un pulso eléctrico.

TRANSDUCTORES INDUCTIVOS



TRANSDUCTORES INDUCTIVOS



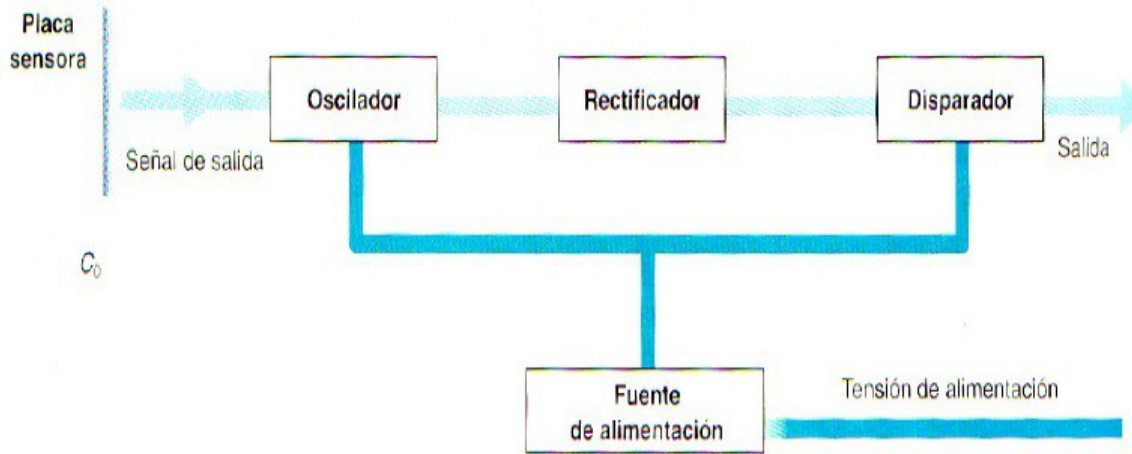
TRANSDUCTORES DE POSICIÓN CAPACITIVOS

□ **Capacitivos:** Pueden estar formados por un electrodo de modo que cuando cambia el dieléctrico (material a detectar) cambia la capacidad del condensador que se encuentra

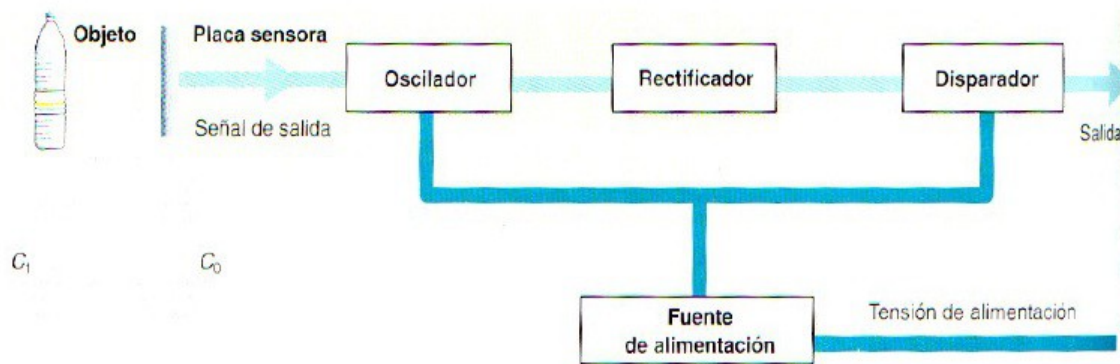
asociado a un circuito resonante y se emite una señal. Se pueden utilizar como detectores de nivel, siempre que el material a detectar sea aislante.

Permite la detección de: líquidos, objetos no metálicos, sustancias en polvo etc.

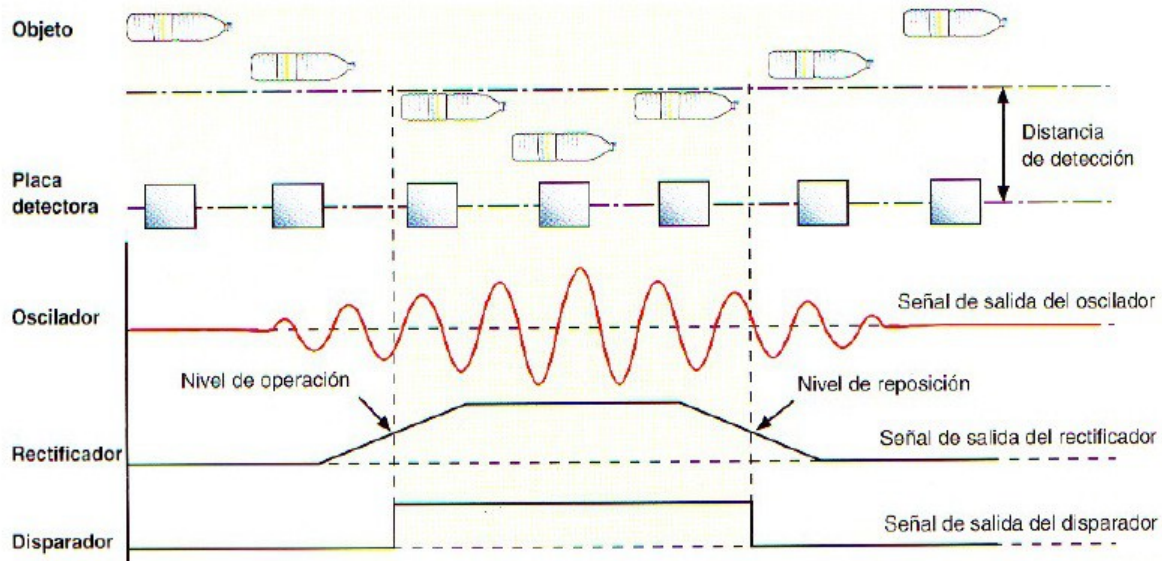
TRANSDUCTORES DE POSICIÓN CAPACITIVOS



TRANSDUCTORES DE POSICIÓN CAPACITIVOS



TRANSDUCTORES DE POSICIÓN CAPACITIVOS



TRANSDUCTORES DE POSICIÓN ÓPTICOS.

- ▣ **Sensores ópticos:** Se trata de dispositivos sensibles a la luz (normalmente se trabaja en la gama de los infrarrojos, luz no visible).
- ▣ Sensores de proximidad:
- ▣ Se distinguen: de barrera, de reflexión y de reflexión directa

TRANSDUCTORES DE POSICIÓN ÓPTICOS.

- ▣ **Para distancias más largas:**
 - **Células fotoeléctricas:** El funcionamiento es similar al anterior pero las **distancias** a detectar pueden llegar a los **200 m**

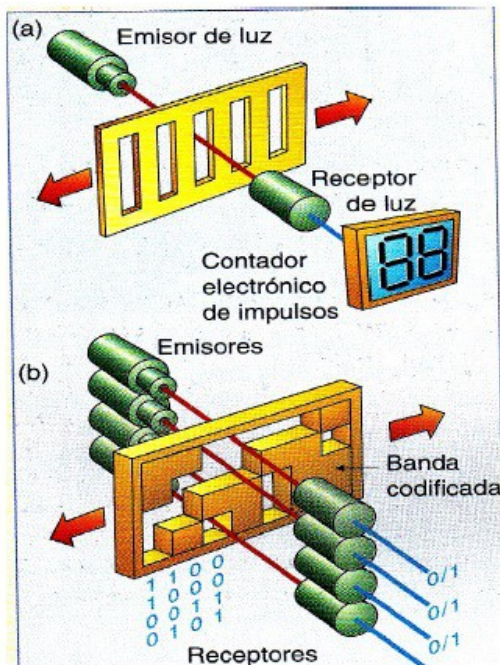
TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO

▣ MEDIDAS DE GRANDES DESPLAZAMIENTOS

▣ **Sensores por radiación electromagnética:** Las radiaciones electromagnéticas, se transmite a la velocidad de la luz ($3 \cdot 10^8$ m/seg). Nos sirven para medir grandes distancias de objetos (midiendo la velocidad de retorno de la onda). Al igual que los sensores ópticos, necesitan un transmisor y un receptor.

▣ **Sensores por ultrasonidos:** Son similares a los anteriores pero se emplean para distancias más cortas, ya que la velocidad de propagación de los ultrasonidos es la del sonido. Tanto estos como los anteriores nos permiten medir distancias.

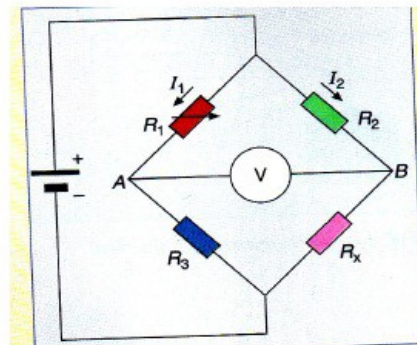
TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO



- **Medidas de distancias cortas:** Se pueden emplear potenciómetros o detectores ópticos

MEDIDAS DE PEQUEÑOS DESPLAZAMIENTOS

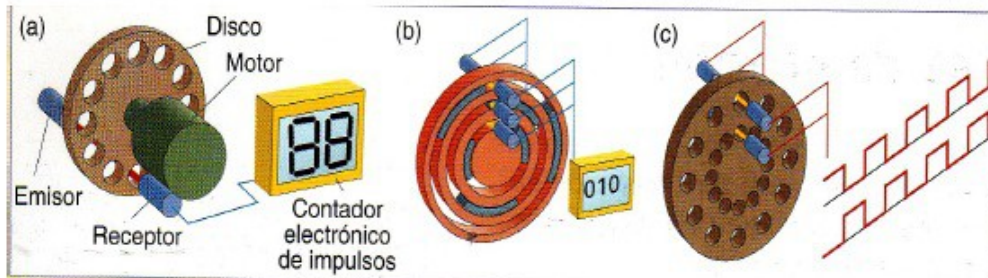
- **GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS:** Son materiales metálicos o semiconductores que varían su resistencia al ser deformados. Las variaciones de resistencia son muy pequeñas por lo que hay que conectarlos a un puente de medida.
- **INDUCTIVOS:** Se utilizan dos devanados uno fijo y otro variable (principio de funcionamiento del transformador).
- **CAPACITIVOS:** Consiste en variar la distancia entre las armaduras del condensador o su posición.



$$R_x = R_3 * R_2 / R_1$$

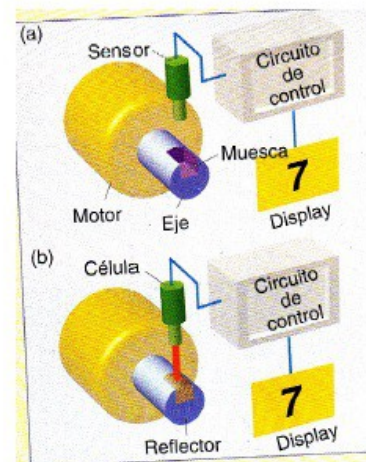
MEDIDAS ANGULARES

- **Sincros:** Se trata de un pequeño alternador trifásico, al desplazamiento angular del rotor, se traduce una variación de señal eléctrica en los devanados del estator.
- **Potenciómetros:** Una resistencia variable, puede valer para informar sobre una variación angular.
- **Discos codificados:** En este caso empleamos un lector óptico que traduce un código binario sobre el disco que gira. (Encoder)



TRANSDUCTORES DE VELOCIDAD

- Nos valen para informar sobre el valor de una velocidad. Se pueden emplear para lograr mantener la velocidad de una máquina constante.
 - **Tacómetro:** Es similar a una dinamo, calibrada para que la tensión sea proporcional a la velocidad.
 - **Medida de impulsos ópticos:** Una señal sobre el dispositivo que gira informará a un lector óptico sobre la velocidad del dispositivo.



TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

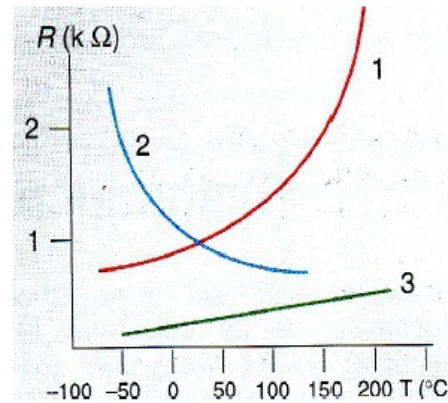
- Una membrana se deforma con una variación de la presión, esta puede emplearse para accionar un interruptor (presostato).
- Una válvula limitadora de presión permitirá el paso o no de fluido.
- **Transductores extensiométricos:** Pueden valer para detectar objetos por contacto. Se trata de resistencias que al ejercer una presión sobre las mismas se deforman y varían su resistencia, estas pequeñas variaciones de resistencias se pueden detectar mediante puentes de resistencias.

TRANSDUCTORES DE PRESIÓN

▣ **Sensores piezoeléctricos:** Se trata de dispositivos contruidos con materiales cerámicos, que al someterlos a presión manifiestan una diferencia de potencial.

TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

- **TERMORESISTENCIAS:** Todo conductor varia sus resistencia en función de la temperatura.
- **TERMISTORES:** Aquí empleamos materiales semiconductores, distinguimos dos tipos:
 - ▣ PTC: Resistencias que al aumentar la temperatura aumenta la misma.
 - ▣ NTC: Lo contrario de las anteriores.
- Tienen el inconveniente de trabajar en un margen de temperatura determinado.



TRANSDUCTORES DE TEMPERATURA

▣ **PIRÓMETROS:** Un cuerpo irradia energía proporcional a su temperatura. Esta energía puede ser concentrada a través de una lente y convertirla en una señal eléctrica.

▣ **TERMOPARES:** Se trata de dos metales distintos, unidos por un extremo (extremo caliente). Al aplicarle el foco caliente a este extremo en sus extremos, separados, aparece una diferencia de potencial proporcional a la temperatura.

Principios básicos de la automatización

Introducción

En la actualidad, las empresas se ven en la necesidad de adaptarse con rapidez a las exigencias del mercado intentando adelantarse a sus competidores en un entorno en continuo cambio.

La automatización de máquinas y procesos ha permitido mejorar la productividad y la calidad de los productos y la disminución de costes. Pero esto no es suficiente cuando un producto no obtiene éxito o su ciclo de vida se acorta como

consecuencia de la aparición de un producto sustitutivo. La automatización tradicional no permite mejorar en este aspecto.

Las tecnologías de la información han propiciado un nuevo enfoque por el que la producción se contempla como un flujo del material a través del sistema productivo y que interacciona con todas las áreas de la empresa. De ello surge el concepto de Automatización Integrada (CIM, *Computer Integrated Manufacturing*) que persigue los siguientes objetivos:

- Reducir los niveles de *stock* y controlarlos en tiempo real.
- Disminuir los costes directos, mejorar la productividad y el control de calidad.
- Aumentar la disponibilidad de las máquinas mediante la reducción de los tiempos de preparación.
- Permitir la rápida introducción de nuevos productos.

Además, los equipos de control inteligentes deben integrarse en un único sistema en el que deben intercambiar información entre sí y con los sistemas informáticos de las otras áreas de la empresa, a través de medios como el Protocolo para la Automatización de la Producción (MAP), que permite la incorporación de diferentes equipos a un único entorno de comunicaciones.

Conceptos básicos

La automatización de una máquina o proceso consiste en la incorporación de un dispositivo tecnológico que se encarga de controlar su funcionamiento. El sistema que se crea con la incorporación del dispositivo, denominado genéricamente automatismo, es capaz de reaccionar ante las situaciones que se presentan ejerciendo la función de control para la que ha sido concebido.

Un sistema automatizado consta de:

- La máquina o proceso que se quiere controlar.
- Una unidad de control encargada de ejecutar las acciones necesarias.
- Un conjunto de controladores o elementos de interfaz entre la máquina y el control.

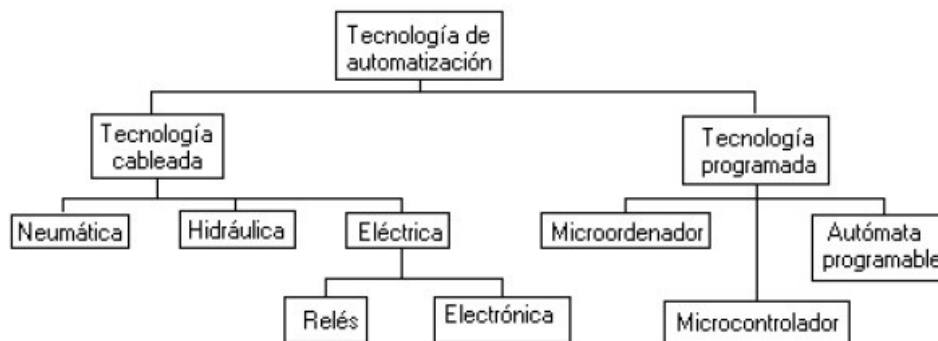
La información que utiliza la unidad de control es recogida por un conjunto de elementos denominados captadores. Esta información es el resultado de los cambios que tienen lugar en el estado de la máquina o proceso como consecuencia de su función. Por otra parte, la unidad de control genera órdenes

que se transmiten a la máquina a través de actuadores, que transforman dichas órdenes en magnitudes o cambios físicos en el sistema mediante la aportación de potencia.

En resumen, se trata de un proceso en lazo cerrado, en el que existe un flujo continuo de información desde la máquina o proceso a la unidad de control y viceversa. La información recibida en la unidad de control se trata según un método especificado previamente que se conoce como algoritmo de control del sistema, del que se obtienen las acciones que conducirán al funcionamiento de la máquina o proceso.

Además, la unidad de control es capaz de proporcionar información ya elaborada sobre el estado y evolución del sistema al operador del mismo. Por otra parte el operador puede intervenir en el desarrollo del control mediante las consignas que modifican los parámetros del algoritmo de control o tomar el mando total pasando el sistema a control manual.. Sistemas cableados y sistemas programados: tipología y características.

Las tecnologías empleadas en la automatización pueden clasificarse en dos grandes grupos: tecnologías cableadas y tecnologías programadas o programables



Los automatismos **cableados** se realizan a base de uniones físicas de los elementos que constituyen la unidad de control. La forma en que se establecen dichas uniones se determina por la experiencia o por un planteamiento teórico empleando las ecuaciones lógicas o el álgebra de Boole. Los circuitos de los esquemas serán aplicables a dispositivos neumáticos, hidráulicos, eléctricos o electrónicos.

La tecnología cableada ha sido y es extensamente empleada en la industria, pero presenta ciertos **inconvenientes**:

- En general ocupa mucho espacio.
- Poca flexibilidad ante modificaciones o ampliaciones.

- Es difícil la identificación y resolución de averías.
- No están adaptados a funciones de control complejas.

La disponibilidad de **equipos programables** (microprocesadores) inició la aplicación de la tecnología programable en el medio industrial.

Un **microprocesador** es un dispositivo con capacidad para leer una secuencia de instrucciones (programa almacenado) en código binario y ejecutar distintas acciones dependiendo del tipo de instrucción.

Todos los equipos microprogramables, además del microprocesador, disponen de una **memoria** donde almacenar el programa que ejecutan y los datos con los que opera el programa, y de unas **unidades de entrada/salida** mediante las cuales el microprocesador se comunica con el entorno exterior.

Los microprocesadores se aplicaron allí donde la cantidad de información y la complejidad del algoritmo de control hacían extremadamente complicado el empleo de equipos cableados; un campo particularmente propicio fue el de la industria de proceso (química, petroquímica).

Los **microordenadores**, cuya capacidad de tratamiento de la información estaba probada en aplicaciones de cálculo y gestión, si bien paliaban los inconvenientes de las técnicas cableadas, aportaban una nueva problemática para su empleo generalizado en el control industrial por los siguientes motivos:

- Poco adaptados a las condiciones del medio industrial.
- Requerían personal especializado para la programación y mantenimiento.
- Coste elevado del equipo.

Hoy en día, en los procesos industriales el ordenador es más empleado en tareas de supervisión, comunicado con la red de autómatas o de microcontroladores, funciones de procesamiento y almacenamiento de datos, presentación gráfica de resultados, visualización del estado del proceso, etc., que en las específicas de control.

A principios de la década de los 70 empezó a aplicarse con éxito un nuevo dispositivo programable, el **autómata programable industrial**, paralelamente a la difusión de la tecnología del microprocesador. El autómata surgió como alternativa a la aplicación de los equipos informáticos en la industria y se ha constituido en el principal dispositivo programable empleado en control industrial.

El autómata programable, PLC (*Programmable Logic Control*) es un equipo electrónico con el que pueden controlarse procesos secuenciales en tiempo real en

aplicaciones industriales de diversos tipos. Las **ventajas** que incorpora son:

- Fiabilidad.
- Mejora el control de los procesos.
- Permite introducir cambios rápidos en las maniobras y en los procesos.
- Controla y protege los aparatos eléctricos.
- Reduce el volumen de los automatismos.
- Aumenta el grado de seguridad de las instalaciones que controla.

La tercera opción de la tecnología programada es el **microcontrolador** que es un dispositivo que ofrece en un único circuito integrado: un microprocesador, memoria de programa (ROM) y de datos (RAM), y unidades de entrada y de salida que posibilitan su comunicación con el entorno industrial, es decir, con el proceso en el que interviene.

Esta es la **solución más sencilla y económica** pero no proporciona la fiabilidad y la seguridad de funcionamiento en condiciones extremas o en ambientes industriales de los autómatas programables ni la potencia de cálculo y proceso del ordenador.

Sin embargo son muy populares en electrodomésticos, máquinas de oficina, automóviles, videoconsolas, y otras aplicaciones donde el medio ambiente es limpio y confortable o donde un fallo en la función de control no supone que el proceso controlado se paralice. Por ejemplo, si falla el microcontrolador -ordenador a bordo del automóvil no tendremos un chequeo permanente del estado del vehículo, pero esto no influirá en el desplazamiento eficaz del vehículo.

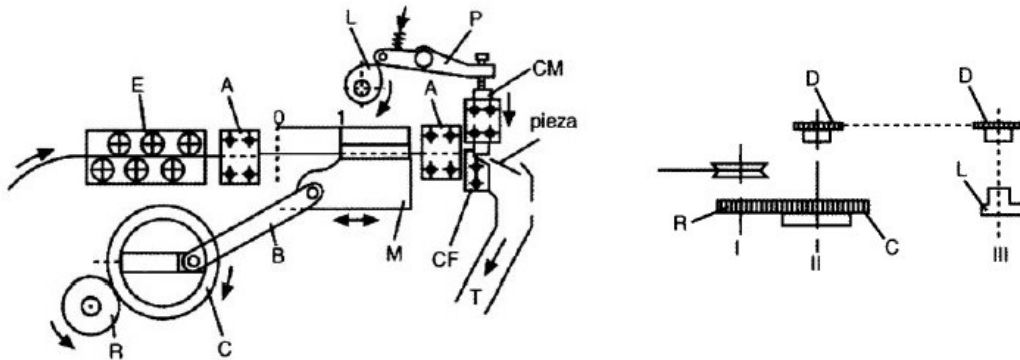
Tipos de energía para el mando

Según la naturaleza del automatismo empleado puede hablarse de automatización **mecánica, neumática, hidráulica, eléctrica y electrónica**.

Además existen técnicas mixtas que son combinaciones de las citadas y que, en la práctica, son las más habituales.

Automatización mecánica

Los sistemas mecánicos suelen ser complicados -por la abundancia de mecanismos- y de escasa flexibilidad. Por el contrario, la tecnología que regula su funcionamiento es relativamente accesible al personal poco cualificado, lo que se traduce en un montaje y mantenimiento económicos.



Los mecanismos que los componen son: ruedas dentadas y poleas para transmisiones del movimiento de biela-manivela, piñón-cremallera, etc., para la conversión del movimiento rectilíneo en circular y viceversa; levas y palancas para la obtención de recorridos controlados, etc.

Los grandes problemas de la automatización mecánica son: la longitud, en muchas ocasiones, de las cadenas cinemáticas, y, por supuesto, la sincronización de movimientos en los órganos móviles.

Existe una gran variedad de automatismos mecánicos en la industria: desde las máquinas herramientas (tornos, fresadoras, limadoras), hasta los relojes mecánicos, pasando por los telares, motores de combustión interna y toda la maquinaria que formó parte de la revolución industrial.

34.3.2. Automatización neumática

La técnica neumática admite infinidad de aplicaciones en el campo de la

máquina herramienta, especialmente en los trabajos de fijación de piezas, bloqueo de órganos, alimentación de máquinas y movimiento lineal de órganos que no requieran velocidades de actuación rigurosamente constantes. Prácticamente la totalidad de las automatizaciones industriales tienen, como elementos de mando, instalaciones neumáticas .

Como principales **ventajas** del mando neumático cabe destacar:

- La sencillez de los propios sistemas de mando: cilindros, válvulas, etc.
- La rapidez de movimiento (respuesta) del sistema neumático.
- La economía de los sistemas neumáticos una vez instalados.

Y como **inconvenientes**:

- La instalación requiere un desembolso económico añadido a la propia automatización.
- El mantenimiento del estado del aire, ya que debe mantenerse perfectamente limpio y seco.

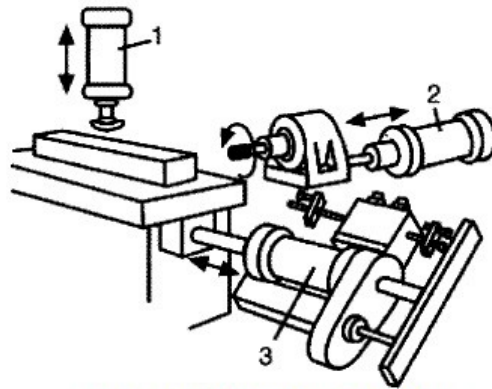


Figura 34.3.- Automatismo neumático.

Automatización hidráulica

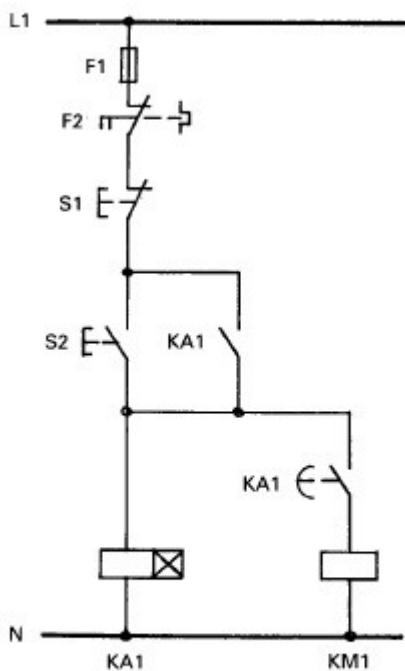
Prácticamente lo dicho para la automatización neumática vale para la hidráulica, aunque con algunas diferencias; por ejemplo, el mando hidráulico es más lento que el neumático, sin embargo, es capaz de desarrollar más trabajo. La hidráulica se prefiere en sistemas que deban desarrollar más trabajo y no sea primordial la velocidad de respuesta. Este tipo de mando lo encontraremos en prensas, diversas máquinas herramientas, y por supuesto, en el automóvil: frenos, dirección e, incluso, suspensión.

Automatización eléctrica

Dado que la energía eléctrica está disponible en cualquier instalación industrial, prácticamente cualquier máquina por sencilla que sea, va a tener algún tipo de automatismo eléctrico, encargado de gobernar los motores o como función de mando dentro de la propia máquina.

La técnica eléctrica se utiliza para control de movimiento (lineal o angular), en los casos en que se precisan velocidades constantes o desplazamientos precisos. Su gran ventaja es la disponibilidad de una fuente de energía eléctrica en prácticamente cualquier lugar.

Los elementos de mando más comunes son los pulsadores, interruptores, conmutadores, finales de carrera, detectores fotoeléctricos, relés, temporizadores y contactores.



34.3.5. Automatización electrónica

Por supuesto, la llegada de la electrónica a la industria ha supuesto una verdadera revolución y ha permitido que la automatización industrial dé un paso de gigante. La base de este avance en la automatización ha sido el sistema digital, que

ha desembocado en el ordenador y, naturalmente, en el autómatas programable.

El tipo de sistema de control electrónico más común, recibe el nombre de **controlador secuencial**, debido a su forma de actuación. Podemos resumir una serie de características propias a los procesos que se controlan de forma secuencial.

- El proceso se puede descomponer en una serie de estados que se activarán de forma secuencial (variables internas).
- Cada uno de los estados cuando está activo realiza una serie de acciones sobre los actuadores (variables de salida).
- Las señales procedentes de los sensores (variables de entrada) controlan la transición entre estados.
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control (entrada, salida internas), son múltiples y generalmente de tipo discreto, solo toman dos valores activado o desactivado. Por ejemplo, un motor solo estará funcionando o parado; un sensor situado sobre un cilindro neumático estará activado cuando esté el émbolo del cilindro situado a su altura y desactivado en caso contrario.

En función de cómo se realice la transición entre estados, los controladores secuenciales pueden ser de dos tipos: asíncronos y síncronos.

Asíncronos: La transición entre los estados se produce en el mismo instante

en que se produce una variación en las variables de entrada.

Síncronos: La transición a un determinado estado se produce en función de las variables de entrada sincronizadas mediante una señal de reloj de frecuencia fija, de forma que la transición entre estados solo se produce para cada señal de reloj.

34.4. Medios utilizados

El elemento básico de un automatismo cableado es el **relé** o, en su versión industrial, el contactor. Los relés se pueden accionar por medio de interruptores y pulsadores, pero también a través de sensores: termostatos, presostatos, células fotoeléctricas, detectores de movimiento, etc.

Además de posibilitar la automatización de los procesos, los relés permiten el **mando a distancia**, de manera que las instalaciones industriales se pueden separar

en 2 circuitos: el circuito de mando y el circuito de potencia. En el circuito de mando,

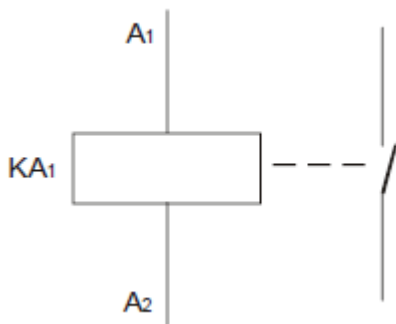
situado en zonas de fácil acceso y libre de riesgos para el operador porque se trabaja con tensiones e intensidades pequeñas, se generan las órdenes de accionamiento. En el circuito de potencia o fuerza, situado junto a la máquina donde

se realiza la transformación de energía, se trabaja con magnitudes elevadas que resultarían peligrosas para el operador si se efectuara un accionamiento directo.

La norma UNE define al relé como el aparato que, cuando se cumplen ciertas condiciones en un circuito eléctrico, produce determinadas modificaciones que influyen sobre el mismo circuito o en otro circuito distinto.

Su símbolo se muestra en la figura, para un relé de un solo contacto, normalmente abierto.

El circuito sobre el que actúa el relé sirve de control o



de señalización. Muchos son los dispositivos eléctricos que cumplen con esta definición. Desde el relé simple hasta el relé temporizado con los mecanismos más complejos para el accionamiento o el relé diferencial.

Dependiendo del principio de funcionamiento, tradicionalmente, se distinguían dos **tipos de relés**, el térmico y el electromagnético. Hoy en día, especialmente en circuitos de control de potencia de motores, están aplicándose cada vez con más frecuencia los llamados relés electrónicos o relés de estado sólido, basados en materiales semiconductores.

En general, cuanto más baja es la potencia a controlar, tanto más adecuado es un relé electrónico frente al correspondiente relé eléctrico.

A. Relé térmico

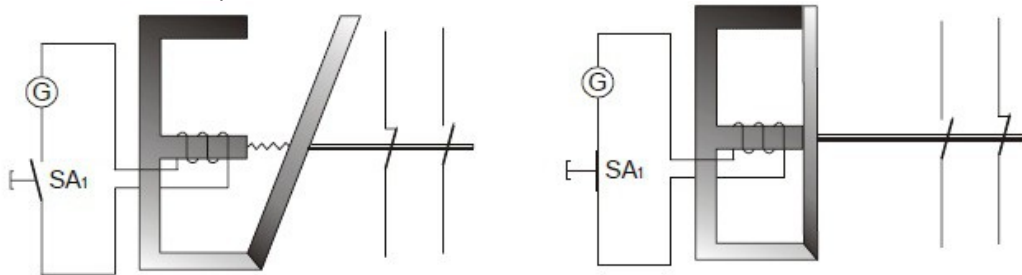
Está formado por una lámina bimetalica que se dobla al ser calentada por un exceso de corriente, provocando la desconexión de un contacto.

Se emplea como protección frente a sobrecargas, siendo su velocidad de desconexión inversamente proporcional a la sobrecarga. (Se entiende por sobrecarga la condición de funcionamiento de un circuito eléctrico sin defecto, que provoca una corriente superior a la nominal). Cuando se produce la desconexión por efecto de la sobrecarga, debe esperarse a que enfríe el bimetálico y se cierre el contacto para que la corriente circule de nuevo por el circuito.

B. Relé electromagnético

El relé electromagnético está basado en la fuerza ejercida por un campo magnético sobre un material ferromagnético.

Constan de una armadura fija y otra móvil. Sobre la fija se dispone una bobina, que será la encargada de crear el campo magnético, cuando circule una corriente eléctrica, necesario para atraer rápidamente a la armadura móvil. Sujeto mecánicamente a la armadura está el bloque de contactos (normalmente abiertos y normalmente cerrados), los cuales cambian de posición (los abiertos se cierran y los cerrados se abren) al ser atraída la armadura móvil.



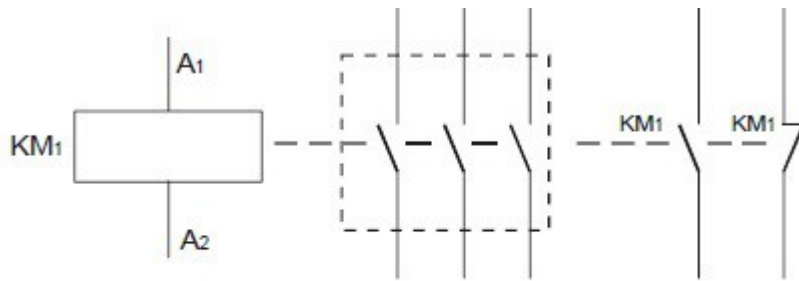
Cuando cesa de circular corriente eléctrica por la bobina, un muelle hace retroceder rápidamente al bloque de contactos hasta su posición inicial.

En la figuras, pueden verse las partes del relé y su posición cuando la bobina está desexcitada (sin tensión) o excitada (con tensión).

La definición dada para el relé puede servir igualmente para el **contactor**. Su funcionamiento está basado en el mismo principio. Las diferencias radican en los valores de las magnitudes eléctricas que se manejan con uno y otro dispositivo. El contactor está pensado para trabajar como interruptor automático, con corrientes y tensiones más elevadas.

En esencia, el funcionamiento de un contactor es similar al del relé. Al aplicar corriente a su bobina, el campo magnético formado por esta, atrae al núcleo móvil y este desplazamiento es el que cierra los contactos, ya que unos están fijos y otros se desplazan con la parte móvil del núcleo.

El símbolo del contactor se muestra en la figura



Las partes principales de un contactor son:

- El **electroimán**. El electroimán, es el órgano motor del contactor. Está formado por una bobina y un núcleo magnético, con una parte fija y otra móvil.
- Los **contactos principales**. Los contactos principales, que son generalmente tres, son los elementos que establecen o interrumpen el paso de la corriente principal. Están contruidos generalmente de una aleación de plata, y pueden ser de conexión sencilla o doble.
- Los **contactos auxiliares**. Son una serie de pequeños contactos que en mayor o menor número llevan los contactores, unos abiertos y otros cerrados, accionados también por el electroimán, y destinados a funciones específicas de mando, como son, **enclavamientos**, **autoalimentación**, seguridad, etc.
- Las **cámaras de extinción del arco**. Como su propio nombre indica, tienen por misión apagar lo más rápidamente posible el arco que se forma entre los contactos móviles y fijos durante la desconexión del contactor para alargar la vida de estos.

Conclusión

Siendo los más ampliamente utilizados, el relé y el contactor no son los únicos componentes de los automatismos cableados; en automatización neumática e hidráulica se emplean válvulas y cilindros, en electroneumática, las electroválvulas, en electrónica los amplificadores operacionales y los circuitos lógicos combinatorios y secuenciales; sería imposible tratar todos ellos en un tema de estas características, aunque la mayoría se analizarán en temas posteriores.

PLC – SOFTWARE Y LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN

Conceptos básicos

Principales lenguajes de programación utilizados para este tipo de dispositivos:

- Diagrama de funciones secuenciales o SFC
- Diagrama de bloques de funciones o FBD
- Diagrama de tipo escalera o LAD
- Texto estructurado o ST

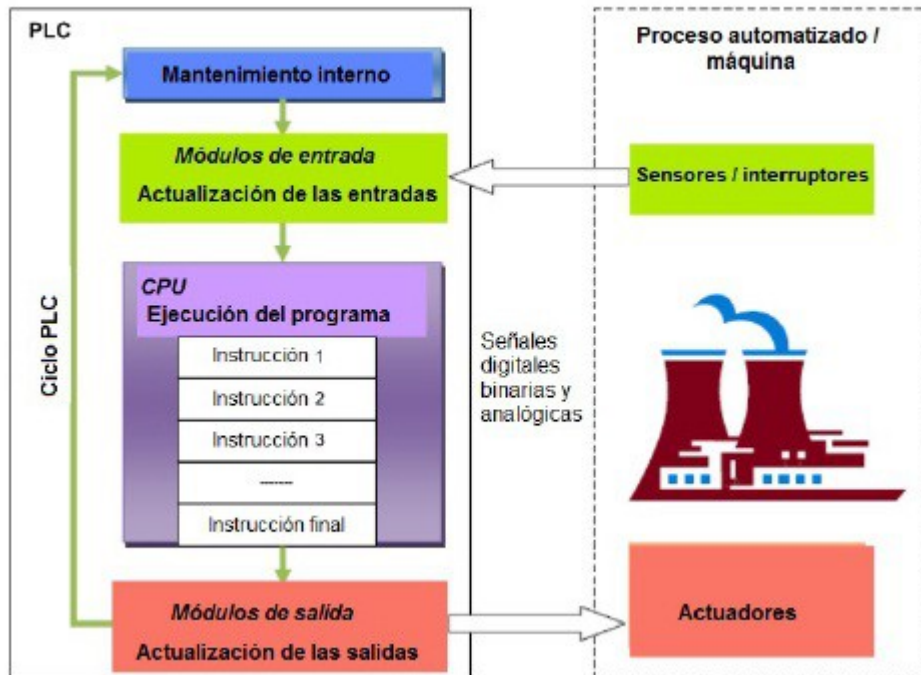
- Lista de instrucciones o IL/STC

SISTEMA OPERATIVO (OS) - FUNCIONES.

El sistema operativo o OS, se trata de un programa o conjunto de ellos que, para un determinado sistema informático, gestiona los recursos hardware y provee servicios a los programas de aplicación. En el caso de los PLCs, las principales funciones del sistema operativo (OS) son:

- Inicialización de los PLC;
- Escaneo (lectura) de las entradas digitales y actualización;
- Escaneo de las entradas y salidas analógicas;
- Ejecución del programa del usuario;
- Mantenimiento de los temporizadores, contadores, etc.;
- Actualización de las salidas de control;
- Mantenimiento de los programas en caso de que se encienda;
- Auto-diagnóstico del sistema;
- Comunicación en el entorno de red;
- Gestión de las tareas cuando los PLCs se controlan por multitareas del OS en tiempo real.

Un programa es una secuencia de instrucciones, que terminan con una orden de finalización del proceso, devolviendo así el control al operador o al monitor del OS. El programa se puede ejecutar de manera asíncrona, si se producen ciertos eventos; o síncrona, si la CPU ejecuta de forma secuencial todas las instrucciones desde la primera hasta la última y vuelve de nuevo a la primera. El ciclo operativo de un PLC está compuesto de dos fases: una fase entrada-salida y una fase de usuario, relacionada con el procesamiento de los datos. La duración de ambas fases depende del número de entradas y salidas, la extensión del programa y de la velocidad de operación del PLC. Además, la estructura del ciclo, se define por la forma en la que direcciona las entradas y salidas, el número de transferencias incondicionales y la duración de los cálculos. A continuación podemos observar cómo es un ciclo típico de un PLC:



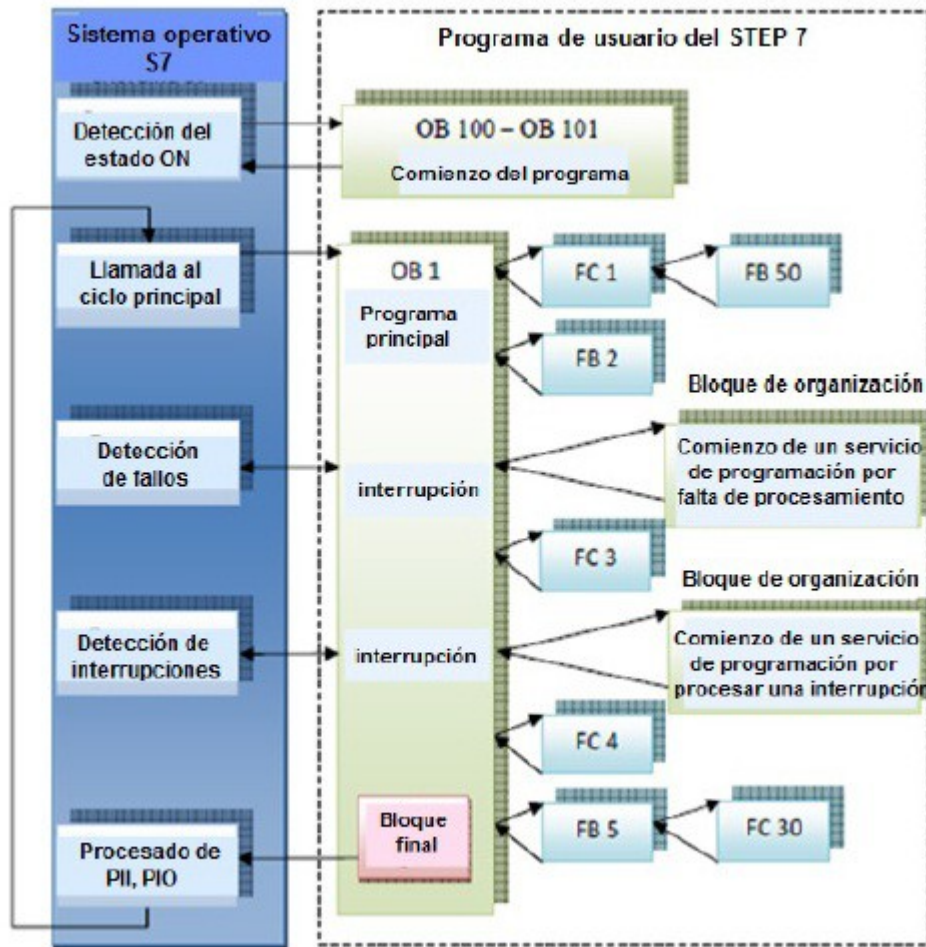
opciones:

- Todas las entradas se visitan al comienzo del ciclo, y las salidas se actualizan después de resolver todas las ecuaciones;
- Todas las entradas se visitan al comienzo del ciclo, y las salidas se actualizan después de resolver cada ecuación;
- Todas las entradas se visitan cada n ms, mientras que las salidas se actualizan cuando existen ciertas condiciones;

Además, debe mencionarse que, en la ejecución de un ciclo, pueden destacarse los siguientes intervalos de tiempo son:

- Tscan: tiempo de escaneo del programa;
- Tcycle: tiempo total de ciclo;
- Tresponse: tiempo de respuesta, entre el cambio de una señal de entrada y el de la salida.

Sin embargo, este tipo de esquemas pueden verse modificados para ciclos de operación de PLCs de tipo industrial. De este modo, se muestra a continuación el proceso cíclico de programación para el PLC S7-300 y el S7-400, fabricados por Siemens. Ambos se controlan por OB1, siendo OB el bloque de organización cuya función se describirá más adelante. De este modo, tras encender la fuente de alimentación y poner la CPU en el modo RUN, OB 1 es llamado para realizar el procesamiento de cada ciclo del PLC. Esto se realiza hasta que la CPU se para o se apaga la fuente de alimentación. A continuación puede observarse un diagrama explicativo del proceso:



LENGUAJES DE PROGRAMACIÓN.

Un lenguaje de programación es un lenguaje formal diseñado para expresar procesos que pueden ser llevados a cabo por máquinas como puede ser un ordenador. En el caso de los PLCs, los lenguajes de programación para los surgieron junto al mismo tiempo que la aparición del primer PLC, en 1968. Así se explica porque no se utilizaron para este fin lenguajes de programación de alto nivel como Pascal y C y, en su lugar, se emplearon otros lenguajes más simples y fáciles de entender, como podremos ver a continuación.

Fue la tercera parte del estándar IEC 61131, el que consideró estos lenguajes para la programación de los PLCs. Este estándar se ha designado como IEC 61131-3 aunque solía ser designado como IEC 1131, antes de que el sistema de numeración cambiase por la comisión internacional electro-técnica. De este modo se definieron los siguientes cinco lenguajes:

- Diagrama de Funciones Secuenciales (SFC) – un lenguaje de bloques de funciones secuenciales;
- Diagrama de Bloques de Funciones (FBD) – un lenguaje de diagramas de bloques secuenciales;

- Diagramas de Tipo Escalera (LAD) – un lenguaje de diagramas de relés (denominado de tipo escalera);
- Texto Estructurado (ST) – un lenguaje de alto nivel como el del tipo de texto estructurado (similar a C y, sobre todo a Pascal);
- Lista de instrucciones (IL o STL) – lenguaje de tipo ensamblador con uso de acumuladores.

En resumen, los lenguajes de programación para PLC son de dos tipos, visuales y escritos. Los visuales (SFC, FBD y LAD) admiten estructurar el programa por medio de símbolos gráficos, similares a los que se han venido utilizando para describir los sistemas de automatización, planos esquemáticos y diagramas de bloques. Sin embargo, los escritos (ST e IL o STL) son listados de sentencias que describen las funciones a ejecutar. Los programadores de PLC poseen formación en múltiples disciplinas y esto determina que exista diversidad de lenguajes. Los programadores de aplicaciones familiarizados con el área industrial prefieren lenguajes visuales, por su parte quienes tienen formación en electrónica e informática optan, inicialmente por los lenguajes escritos. A continuación se expondrán las características y funciones más básicas de este tipo de lenguajes así como un extracto representativo de cada uno de ellos.

DIAGRAMA DE FUNCIONES SECUENCIALES (SFC)

Este primer tipo de lenguaje de programación para los PLCs se trata de un método gráfico de modelado y descripción de sistemas de automatismos secuenciales, en los que el estado que adquiere el sistema ante el cambio de una entrada depende de los estados anteriores. Se trata de programas que están bien estructurados y cuyos elementos básicos son las etapas, las acciones y las transiciones. De este modo, una secuencia en SFC se compone de una serie de etapas representadas por cajas rectangulares y que se encuentran conectadas entre sí por líneas verticales. Así, cada etapa representa un estado particular del sistema y cada línea vertical a una transición. Estas transiciones están asociadas a una condición “verdadero/falso”, dando paso así a la desactivación de la etapa que la precede y activación de la posterior.

Este tipo de lenguaje no tiene ninguno análogo y, en STEP 7, este lenguaje se denomina lenguaje gráfico de programación (S7-GRAPH).

A continuación puede observarse un extracto de un programa diseñado con este lenguaje de programación.

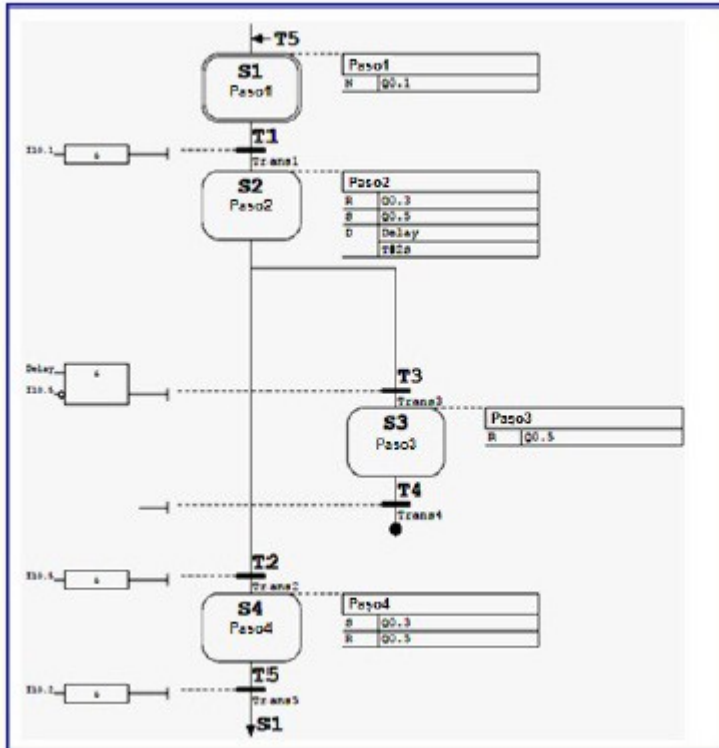


DIAGRAMA DE BLOQUES DE FUNCIONES (FBD)

Este segundo lenguaje de programación es también de tipo gráfico y permite al usuario programar rápidamente, tanto expresiones como en lógica booleana. FBD proviene del campo del procesamiento de la señal y su utilización es conveniente cuando no hay ciclos pero existen, sin embargo, varias ramas en el programa a crear. Se trata de un lenguaje de alto nivel que permite resumir funciones básicas en bloques de modo que el usuario solo se preocupa por una programación funcional de su rutina. De este modo, es ideal para usuarios que no tengan habilidades avanzadas en programación y para aquellos procesos de baja complejidad.

Actualmente es un lenguaje muy popular y muy común en aplicaciones que implican flujo de información o datos entre componentes de control. Las funciones y bloques funcionales aparecen como circuitos integrados y es ampliamente utilizado en Europa. A continuación puede observarse un esquema con un extracto de un programa construido utilizando este lenguaje de programación.

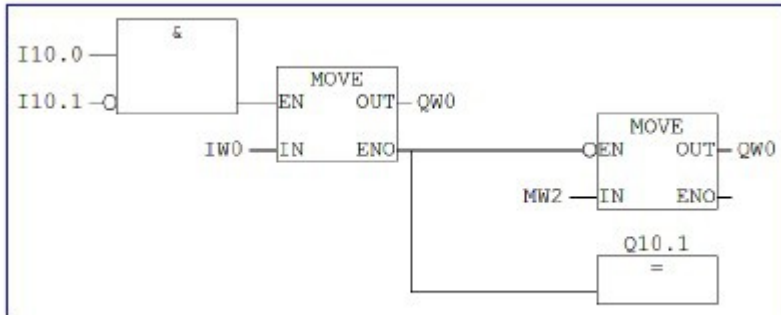
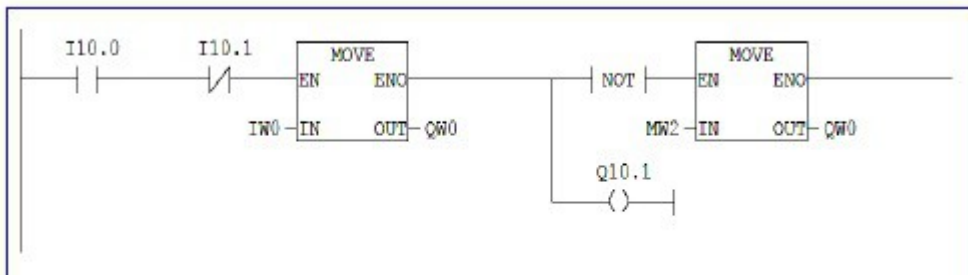


DIAGRAMA DE TIPO ESCALERA (LAD)

Este tercer tipo de lenguaje es también un lenguaje gráfico, que pueden soportar casi todos los PLCs. Se trata de una conexión gráfica entre variables de tipo Booleano, comparable a los antiguos controladores de tipo relé, donde se representa el flujo de energía en diagramas de circuitos eléctricos. Así, este lenguaje de programación se utiliza para la mayoría de las señales Booleanas y prácticamente no se utiliza para trabajar con variables analógicas.

Dentro de sus características principales se encuentra el uso de barras de alimentación y elementos de enlace y estados (ej. flujo de energía); la posibilidad de utilizar contactos, bobinas y bloques funcionales; así como de evaluar las redes en orden, de arriba abajo o de izquierda a derecha. Se trata de uno de los lenguajes más utilizados en la industria debido a su simplicidad, soportado, disponibilidad y legado.



TEXTO ESTRUCTURADO (ST)

Este cuarto tipo de lenguaje, ST, está basado, en cambio, en los lenguajes de tipo texto de alto nivel y es muy similar a los ya conocidos PASCAL, BASIC y C. Aunque todavía no es muy popular se le considera como un lenguaje nuevo ya que requiere conocimiento previo de programación.

Las principales ventajas de este lenguaje respecto al basado en el listado de instrucciones o IL es que incluye la formulación de las tareas del programa, una clara construcción de los programas en bloques con reglas (instrucciones) y una potente construcción para el control. De este modo, se trata de la forma más apropiada de programar cuando queremos realizar ciclos (ej. "if", "while", "for", "case").

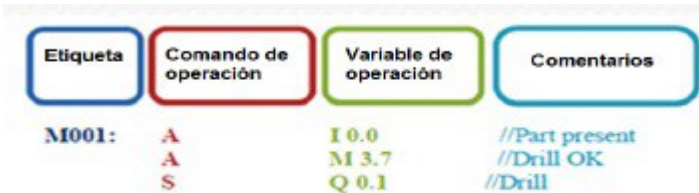
Para el caso de STEP 7 este tipo de lenguaje se denomina SCL (Lenguaje de Control Estructurado). A continuación puede observarse un ejemplo de un extracto de un programa de este tipo:

```
Q 4.0 := I 0.0 AND I 1.1 OR NOT I 0.1
IF Q 4.0 == 1 THEN GOTO M001
ELSE Q 1.0 = NOT Q 4.0;
END_IF;
M001 MW 2= 1+MW 2;
```

LISTA DE INSTRUCCIONES (IL/STL)

Este quinto tipo de lenguaje, al igual que el anterior, se trata de un lenguaje de texto, en este caso, similar a un ensamblador. Está mucho más utilizado en Europa y se trata de un tipo conveniente para programas de poca extensión.

Una de las principales características es que todos los operadores trabajan con un registro especial, denominado acumulador (LD, ST). La estructura de este tipo de lenguajes puede observarse a continuación:



Además, para el OS STEP 7, desarrollado por Siemens, este lenguaje se denomina STL (Lista de Instrucciones – una lista de reglas e instrucciones). A continuación se presenta un extracto de un programa escrito con este tipo de lenguaje:

```

A      I      10.0
AN     I      10.1
JNB    Q001
L      IW     0
T      QW     0
SET
SAVE
CLR
001:  A      BR
      =      L      0.0
AN     L      0.0
JNB    Q002
L      MW     2
T      QW     0
002:  NOP    0
      A      L      0.0
      BLD   102
      =      Q      10.1
```

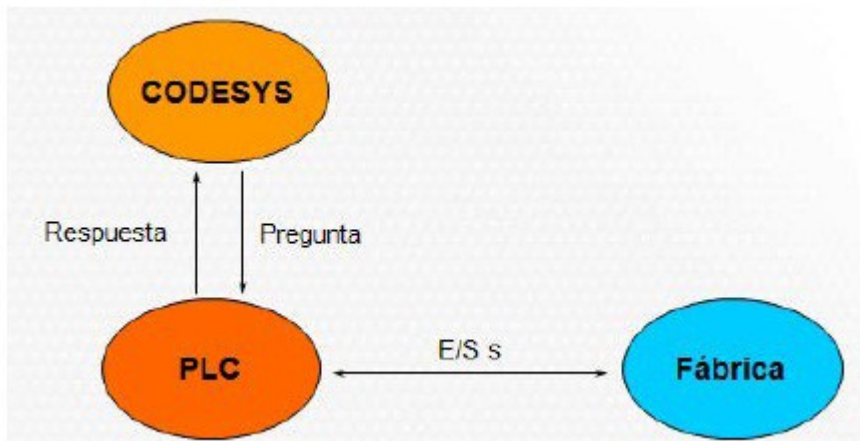
ENTORNO DE PROGRAMACIÓN CoDeSys

CoDeSys (SIStema de DEsarrollo COntrolado) es un entorno de desarrollo de programas de PLC, creado por la empresa Alemana 3S GmbH (1994 r.). Desde 2012 se ha escrito como CODESYS.

Se trata de un sistema que se descarga de manera gratuita y que permite el funcionamiento de los PLC producidos por las empresas IFM, OVEN y otras muchas. Su instalación se realiza por medio de un PC con la ayuda de interfaces en serie normales (RS232), interfaz CAN-PC (ej. EC2070). Además, posee también una librería de funciones integrada. Este tipo de entorno es capaz de soportar tres funciones básicas:

1. Establecer todos los parámetros del PLC en cuestión.
2. Programar un PLC en uno de los lenguajes estándar, definido por la IEC 61131-3: Lista de instrucciones (IL), diagrama de función secuencial (SFC), diagrama de funciones por bloques (FBD) diagrama de lógica en escalera (LD) o texto estructurado (ST); Testeando y ajustando los programas creados.
3. Diagnostico/visualización de los datos recibidos en el controlador.

A continuación podemos observar un esquema explicativo sobre la relación entre CoDeSys y un PLC donde vemos cómo ambos se comunican mediante preguntas y respuestas mientras que las E/S son las que van ya a la fábrica o maquinaria:



PROGRAMACIÓN EN PLCs

La programación en PLCs sigue las siguientes reglas:

- Retorno a la función de llamada
 - Llamar la atención utilizando ciclos (para tener en cuenta el tiempo de ejecución)
- Incrementar el interés hacia el uso de índices para los matrices y punteros
- Así, la estructura de un programa o proyecto se basa en POU, o, como es definido por la IEC 61131-3, aquellos bloques que constituyen los programas y los proyectos y que se denominan Unidades Organizativas de los Programas. Existen tres tipos de POU, declarados por el estándar como:
- Función (FUN) de tipo POU, aquella que puede tener parámetros fijados (argumentos) pero no tiene variables estáticas. Es decir, no tiene memoria de modo que para los mismos valores de entrada se obtienen siempre los mismos valores de salida.
 - Bloque funcional (FB) de tipo POU, aquel con variables estáticas (memoria). Sus salidas siempre dependen de la condición de sus variables tanto internas como

externas, cuyos valores permanecen iguales entre las ejecuciones individuales del bloque funcional. Se trata también de aquellos bloques principales para generar un programa de PLC.

- Programa (PROG) de tipo POU, como el programa principal. Para los PLCs multitareas pueden ejecutarse simultáneamente un elevado número de programas principales.

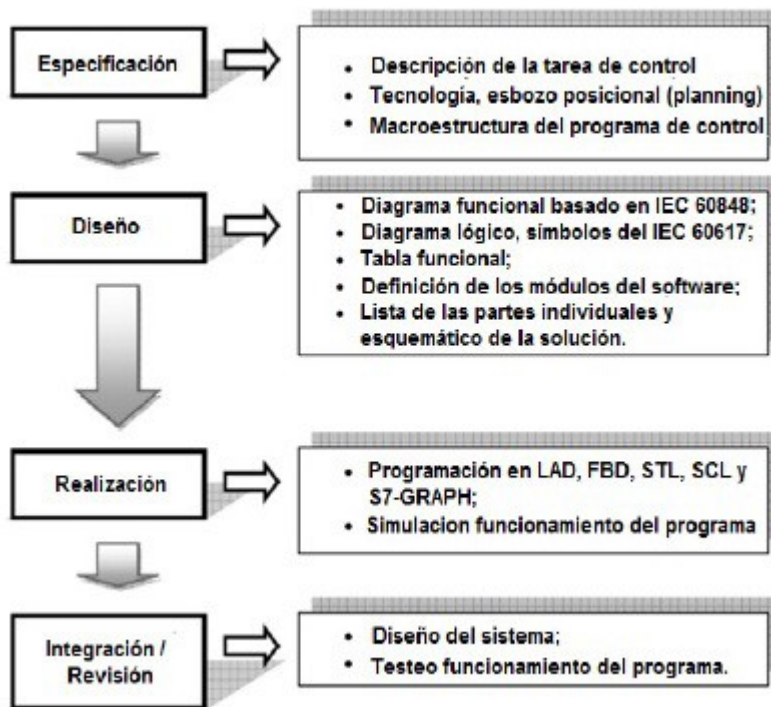
Además de las POU, un programa contiene también datos y direcciones. La validez de estos es local, para 1 POU o global, para todas las POU. En el caso del entorno CoDeSys, estos pueden soportar tres tipos de declaraciones: texto, tabular y automática. Las variables se encuentran fijadas a una dirección que puede ser un área de entrada y/o salida o un cierto marcador de esta área. La sintaxis que indica estas características es precedida por el símbolo “%” que indica que es una variable con las siguientes características:

- Prefijos para el área: I – entrada; Q – salida; M – marcador;

- Para el tamaño: X – un solo bit; B – un byte (8 bits); W – una palabra (16 bits); D – una palabra doble (32 bits).

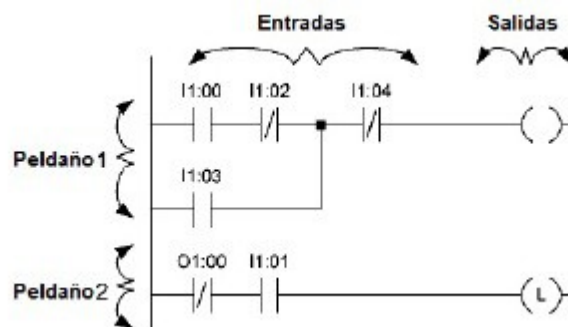
Respecto a los tipos de datos, es el estándar IEC 61131-3 el que define una multitud de tipos de datos estandarizados, denominados tipos de datos elementales. Estos se caracterizan por tener muchos bits, y un rango de valores admisible. Además, el usuario también puede definir otros tipos de datos que pueden crearse y utilizarse analógicamente. Todos estos datos son muy similares a los lenguajes utilizados en niveles elevados como C/C++ y PASCAL.

Finalmente, es necesario señalar que, con el entorno CoDeSys es posible realizar ciertas operaciones: asignación, operaciones de tipo Booleano, operaciones analógicas, comparaciones, selección, conversión de tipo, operaciones con números reales, desplazamientos de bits, y otro tipo de operaciones especiales. Sin embargo, el proceso de creación de un programa PLC (fase de modelo) no es sencillo y deben cumplirse las siguientes fases:



EJEMPLOS DE SISTEMAS EN ESCALERA.

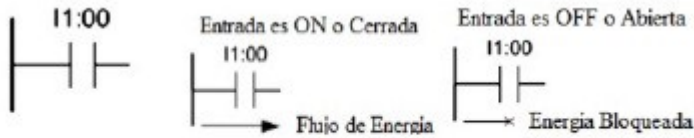
La programación de tipo “escalera” consiste en cierta secuencia lógica de instrucciones, o contactos. De este modo, el estado de cada uno de los elementos, o contactos, de los sistemas electro-mecánicos, contacto-relé, se utilizan para identificar el control de las máquinas y/o procesos. La condición real de los contactos del sistema electro-mecánico es reemplazado por una secuencia lógica. Pueden utilizarse todos los bits de las áreas direccionables de un determinado PLC como un elemento separado del control del sistema (contacto), siempre que se encuentre de acuerdo con el sistema de direccionamiento empleado. El siguiente diagrama muestra un ejemplo de contactos y diagrama lógico con su escalera equivalente (peldaños):



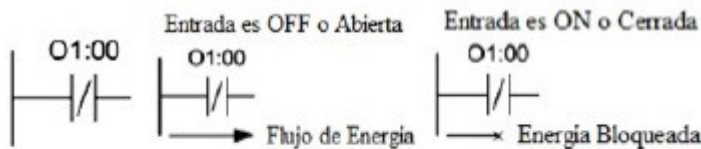
A continuación veremos algunas funciones concretas utilizadas en este tipo de diagramas:

1. Estados de la entradas:

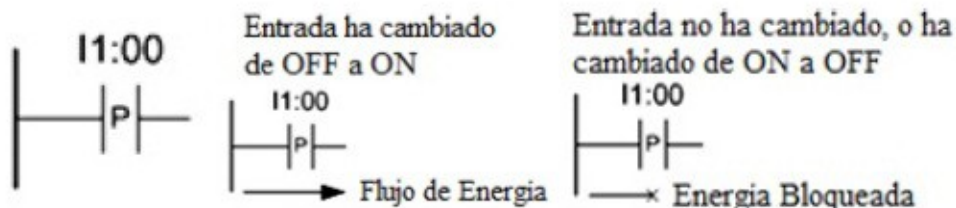
a. Examinar si está cerrado (XCI), si la entrada del dispositivo esta como ON, cerrada, entonces el bit correspondiente de la memoria de datos o entrada imagen se pondrá como verdadero, permitiendo así que la energía fluya de izquierda a derecha. En caso contrario, si el dispositivo se encontrase como OFF, abierta, se bloquearía la energía.



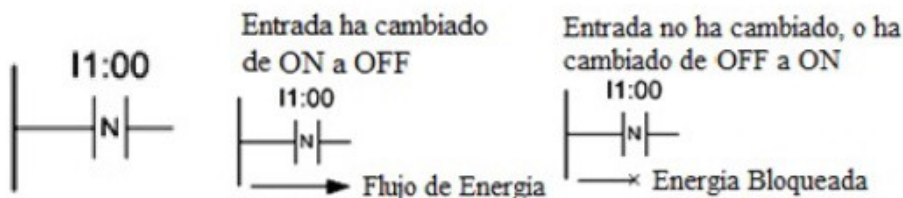
b. Examinar si está abierto (XIO), si la entrada del dispositivo esta como OFF, abierta, entonces el correspondiente bit de la memoria de datos o entrada imagen se pondrá como verdadero, permitiendo así que la energía fluya de izquierda a derecha. Al contrario, si estuviese como falso, se bloquearía la energía.



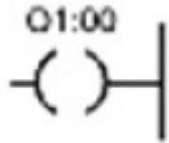
2. Sentidos de transición: a. Sentido positivo de transición (PTS): la condición para el link derecho es ON para la evaluación de un peldaño de la escalera cuando se produce el cambio de OFF a ON en la entrada.



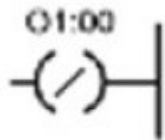
b. Sentido negativo de transición (NTS): la condición para el link derecho es ON para la evaluación de un peldaño de la escalera cuando se produce un cambio de ON a OFF en la entrada.



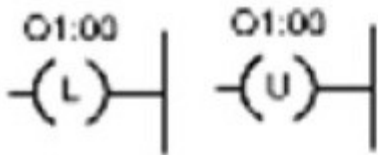
3. Instrucciones de salida: a. Energizar Salida (OTE): si la condición del link izquierdo del OTE está en ON, entonces, se toma el correspondiente bit de la memoria de datos a la salida. El dispositivo cableado a esta salida estará también energizado.



b. Energizar la salida negativa (NOE): si la condición del link izquierdo de la OTE está en OFF, entonces, se tomará el correspondiente bit de la memoria de datos a la salida. El dispositivo cableado a esta salida estará también energizado.



c. Salida cerrada / Tomar salida no cerrada / Reseteo (OTL), (OTU): si la condición del link izquierdo del OTL está momentáneamente a ON, entonces, se tomará el correspondiente bit de la memoria de datos como salida, y permanecerá así hasta que la condición cambie al estado de PFF. Se seguirá tomando la salida hasta que la condición del link izquierdo del OTU esté momentáneamente en estado ON.



4. Funciones lógicas: a. Función OR con dos entradas, la salida está en ON si cualquiera de las entradas también está en ON.

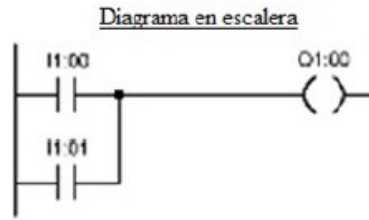
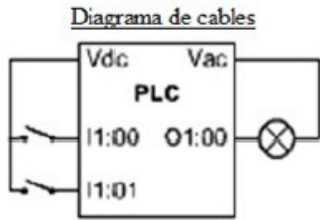


Tabla de la Verdad

I1:00	I1:01	O1:00
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	ON

b. Función AND con dos entradas, la salida está en ON si ambas entradas están en ON.

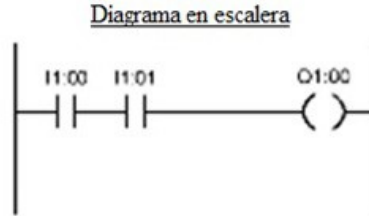
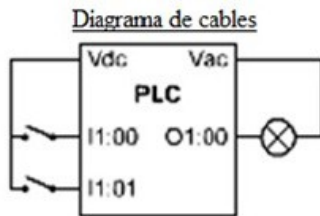


Tabla de la Verdad

I1:00	I1:01	O1:00
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	OFF
ON	OFF	OFF
ON	ON	ON

c. Función NAND de dos entradas, la salida estará en ON si cualquiera de las dos entradas está en OFF.

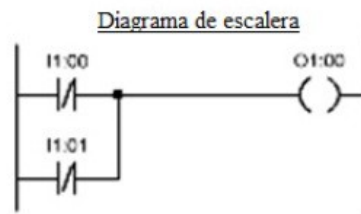
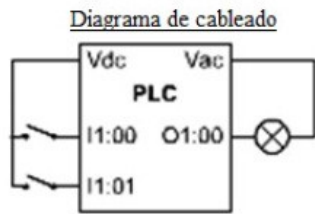


Tabla de la Verdad

I1:00	I1:01	O1:00
OFF	OFF	ON
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	OFF

d. Función NOR de dos entradas, la salida estará en ON si ambas entradas están en OFF.

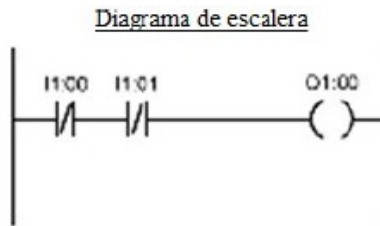
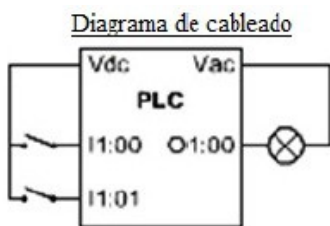


Tabla de la Verdad

I1:00	I1:01	O1:00
OFF	OFF	ON
OFF	ON	OFF
ON	OFF	OFF
ON	ON	OFF

e. Función EXOR de dos entradas, la salida estará en ON si cualquiera de las dos entradas está en ON, pero no ambas.

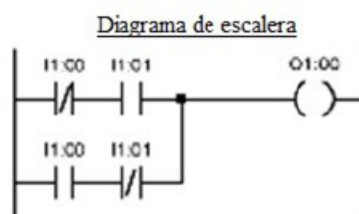
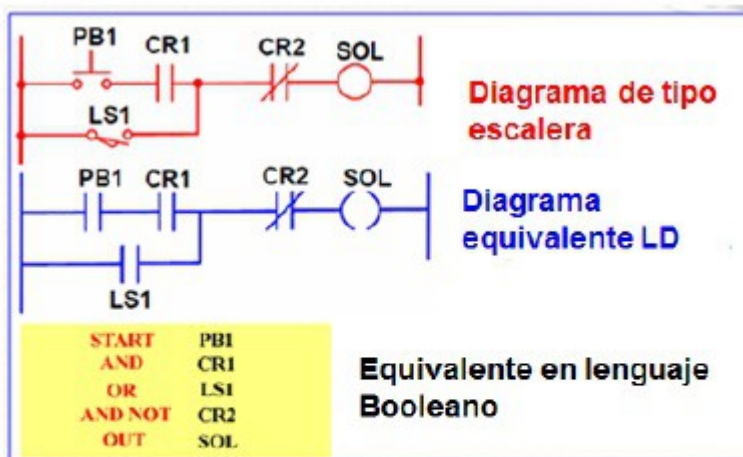
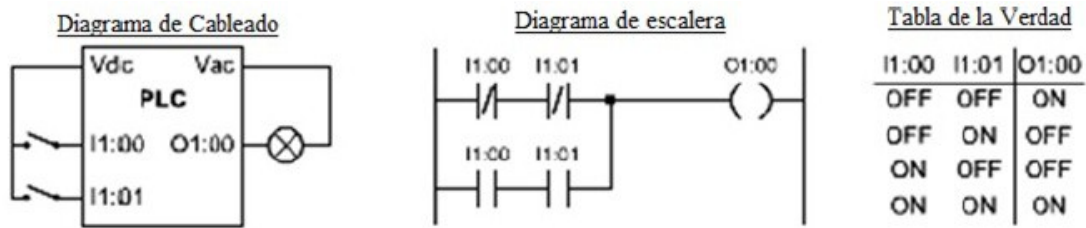


Tabla de la Verdad

I1:00	I1:01	O1:00
OFF	OFF	OFF
OFF	ON	ON
ON	OFF	ON
ON	ON	OFF

f. Función EXNOR de dos entradas, la salida está en ON si ambas entradas están también en OFF o bien en ON.



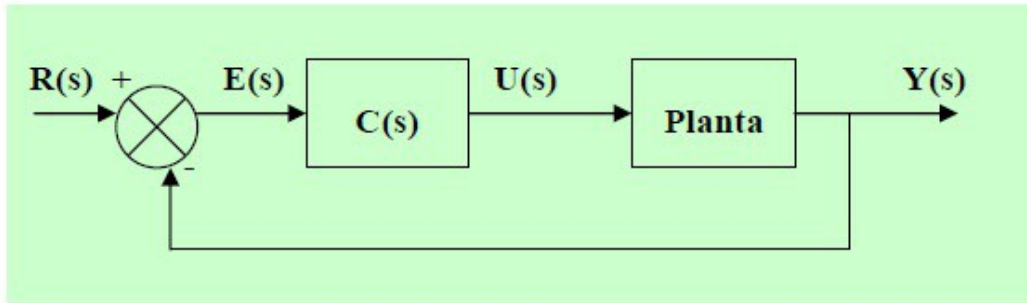
$$y = [(AB) + C]\bar{D}$$

CONTROL PID CLÁSICO

Estructura PID

Corresponde a la estructura de control mas usada en el medio industrial. Las letras PID corresponden a las acciones: Proporcional, Integral y Derivativa. Su simplicidad limita el rango de las plantas que puede controlar satisfactoriamente.

Consideremos el siguiente lazo de control SISO:



Los controladores PID se pueden describir mediante sus funciones de transferencia, relacionando el error $E(s)$ con la salida $U(s)$ del controlador:

$$C_p(s) = K_p$$

Proporcional

$$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_r s} \right)$$

Proporcional e Integral

$$C_{PD}(s) = K_p \left(1 + \frac{T_d s}{\tau_D s + 1} \right)$$

Proporcional y Derivativo

$$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_r s} + \frac{T_d s}{\tau_D s + 1} \right)$$

Proporcional, Integral y Derivativo

donde T_r = constante denominada "Tiempo de Reset"

T_d = constante denominada "Tiempo Derivativo"

La función $C_{PID}(s)$ es conocida como la forma estándar, otras alternativas son:

$$C_{serie}(s) = K_s \left(1 + \frac{I_s}{s} \right) \left(1 + \frac{D_s s}{\gamma_s D_s s + 1} \right)$$

forma serie

$$C_{paralelo}(s) = K_p + \frac{I_p}{s} + \frac{D_p s}{\gamma_p D_p s + 1}$$

forma paralela

Los efectos de las acciones son:

Proporcional:

Contribuye con valores presente del error de control.
Tradicionalmente se usa la expresión “banda proporcional (PB) para describir la acción proporcional. La equivalencia es:

$$PB[\%] = \frac{100[\%]}{K_p}$$

Se define como el error requerido para alcanzar un cambio del 100% en la salida de control.

Integral:

Contribuye con valores proporcional al error acumulado o errores pasados (sumatoria).

Fuerza el error en estado estacionario a cero en presencia de referencia escalón y perturbaciones.

Es un modo de reacción lenta.

Derivativa:

Contribuye con valores proporcionales a la razón de cambio de los errores de control. Es un modo de reacción rápido a los cambios, el cual desaparece en presencia de errores constantes.

Conocido a veces como el modo predictivo.

Su principal limitación es generar grandes señales en presencia de errores de control de frecuencias altas.

Normalmente la constante de tiempo τ_D se escoge tal que:

$0,1T_d \leq \tau_D \leq 0,2T_d$. Mientras más pequeño es más grande el rango de frecuencia sobre el cual la derivada es exacta.

Sintonizado Empírico de los PID

Se usan reglas de sintonía basadas en mediciones hechas sobre la planta real.

Método de oscilación de Ziegler – Nichols (Z-N)

Este procedimiento es válido sólo para plantas estables en lazo abierto. Hay que seguir los siguientes pasos:

Los parámetros de la tabla 6.1 fueron determinados por Ziegler-Nichols, para obtener una respuesta subamortiguada a un escalón en aquellas plantas que satisfacen el modelo de la forma:

- 1) Colocar la planta real bajo control proporcional, con una ganancia muy pequeña.
- 2) Aumentar la ganancia hasta que el lazo empiece a oscilar.
- 3) Registrar la ganancia crítica $K_p = K_C$ del controlador y el período de oscilación de la salida del controlador, P_C .
- 4) Ajuste los parámetros del controlador de acuerdo a la tabla 6.1. Aplicable a la parametrización estándar.

Tabla 6.1

	K_p	T_r	T_d
P	$0,5 K_C$		
PI	$0,45 K_C$	$P_C / 1,2$	
PID	$0,6 K_C$	$0,5 P_C$	$P_C / 8$

Los parámetros de la tabla 6.1 fueron determinados por Ziegler-Nichols, para obtener una respuesta subamortiguada a un escalón en aquellas plantas que satisfacen el modelo de la forma:

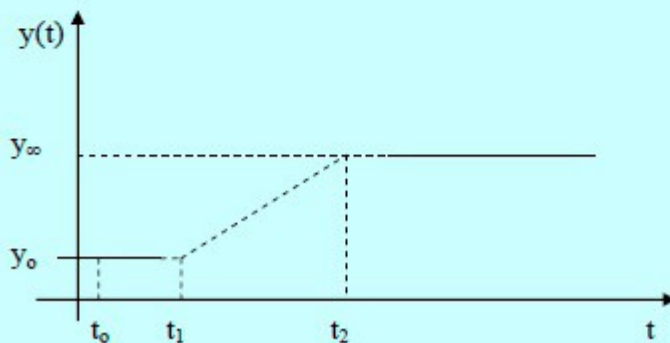
$$G_o(s) = \frac{K_o e^{-s\tau_o}}{\gamma_o s + 1} \quad \text{donde } \gamma_o > 0$$

Métodos basados en la curva de reacción.

Muchas plantas industriales pueden ser modeladas mediante la función de transferencia anterior. Los parámetros de este modelo se pueden obtener con un experimento en lazo abierto apropiado, usando el siguiente procedimiento:

- 1) Con la planta en lazo abierto, llevarla manualmente a un punto de operación normal. Digamos que la salida de la planta permanece en $y(t)=y_o$ para una entrada a la planta constante $u(t)=u_o$.
- 2) En un instante inicial t_o , se aplica un cambio escalón a la entrada de la planta (este podría estar en el rango de 10% a 20% de la escala total).
- 3) Registrar la salida de la planta hasta que se estabilice en el nuevo punto de operación. Suponga que obtiene la curva mostrada en la Figura. Esta curva se conoce como la “**curva de reacción de la planta**”.
- 4) Calcular los parámetros del modelo como sigue:

$$K_o = \frac{y_\infty - y_o}{u_\infty - u_o} \quad ; \quad \tau_o = t_1 - t_o \quad ; \quad \gamma_o = t_2 - t_1$$



Los parámetros obtenidos se pueden usar para derivar varios métodos de sintonizado de un controlador PID.

- 1) El método propuesto por Ziegler y Nichols sugiere los parámetros indicados en la tabla 6.2.

Tabla 6.2 ($x_o = \tau_o / \gamma_o$)

	K_p	T_r	T_d
P	$K = (1/K_o x_o)$		
PI	$0,9 K$	$3 \tau_o$	
PID	$1,2 K$	$2 \tau_o$	$0,5 \tau_o$

- 2) El método propuesto por Cohen and Coon, no depende tanto del parámetro x_o . La tabla 6.3 muestra los parámetros usados.

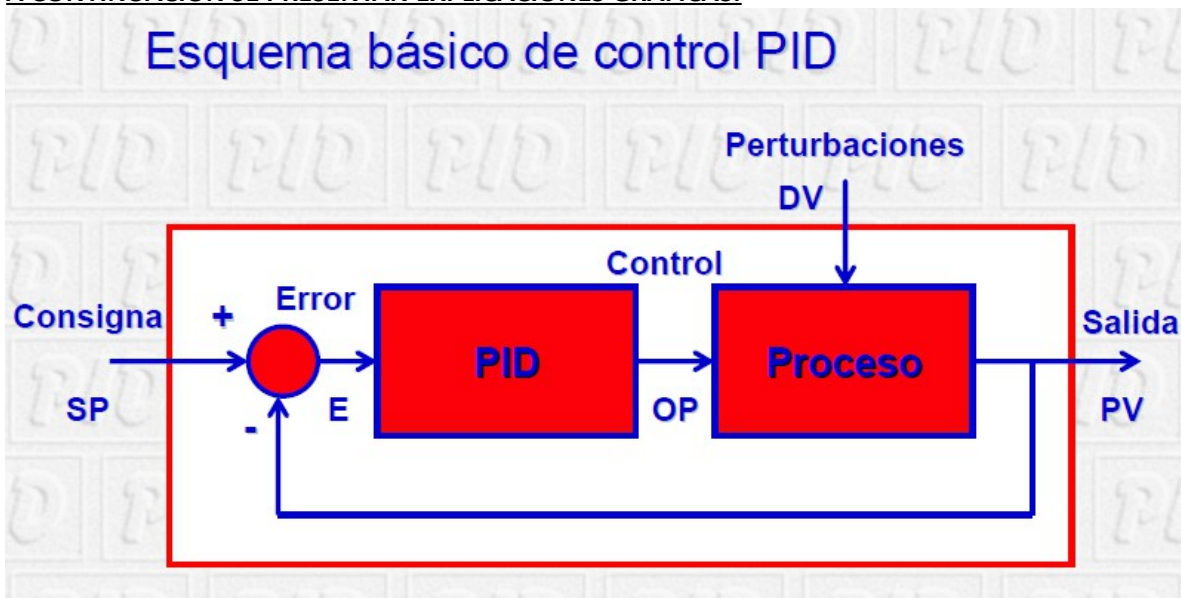
Tabla 6.3 ($x_0 = \tau_0 / \gamma_0$)

	K_P	T_I	T_D
P	$\frac{1}{K_0} \left[\frac{1}{x_0} + \frac{1}{3} \right]$		
PI	$\frac{1}{K_0} \left[\frac{0,9}{x_0} + \frac{1}{12} \right]$	$\tau_0 \frac{[30 + 3x_0]}{[9 + 20x_0]}$	
PID	$\frac{1}{K_0} \left[\frac{4}{3x_0} + \frac{1}{4} \right]$	$\tau_0 \frac{[32 + 6x_0]}{[13 + 8x_0]}$	$\tau_0 \frac{[4]}{[11 + 2x_0]}$

(Consultar por apunte AJUSTE EMPÍRICO).

A CONTINUACIÓN SE PRESENTAN EXPLICACIONES GRÁFICAS.

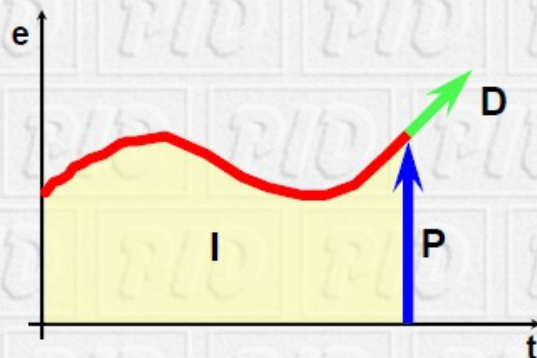
Esquema básico de control PID



- ◆ Es la extensión natural del controlador on-off
- ◆ Es suficiente para muchos problemas de control
- ◆ Más del 95% de los lazos de control utilizan el PID
- ◆ Ha sobrevivido a los cambios tecnológicos
 - Aparición del microprocesador
 - Autosintonía
 - Planificación de ganancia
- ◆ Tiene algunas funciones importantes
 - Utiliza la realimentación para rechazar las perturbaciones
 - Elimina el error estacionario con la acción integral
 - Puede anticipar el futuro con la acción derivativa
- ◆ No es trivial ajustarlo para conseguir los mayores beneficios sobre el proceso
 - Tres parámetros de control

El control PID combina las tres acciones:

- Proporcional (P)
- Integral (I)
- Derivativa (D)



Controlador PID continuo

$$u(t) = \underbrace{K_p e(t)}_P + \underbrace{\frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt}_I + \underbrace{K_p T_d \frac{de(t)}{dt}}_D$$

Ganancia proporcional (K_p)

- ◆ Es la constante de proporcionalidad en la acción de control proporcional .

K_p pequeña \Rightarrow acción proporcional pequeña

K_p grande \Rightarrow acción proporcional grande

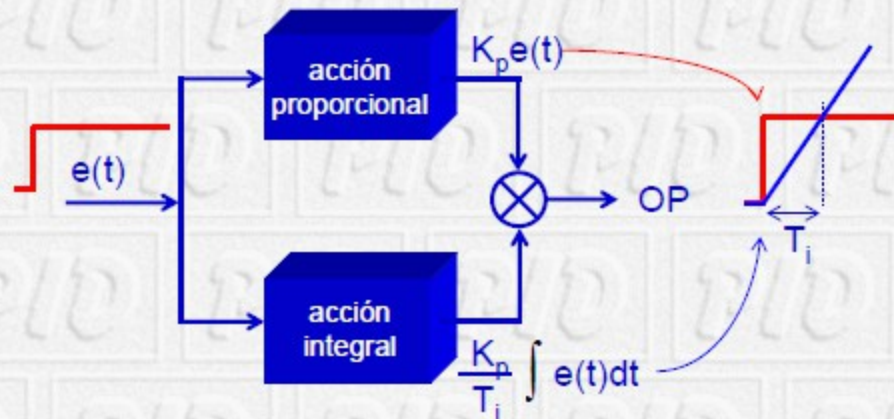


Constante de tiempo integral (T_i)

- ◆ El tiempo requerido para que la acción integral contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción proporcional.

T_i pequeño \Rightarrow acción integral grande

T_i grande \Rightarrow acción integral pequeña

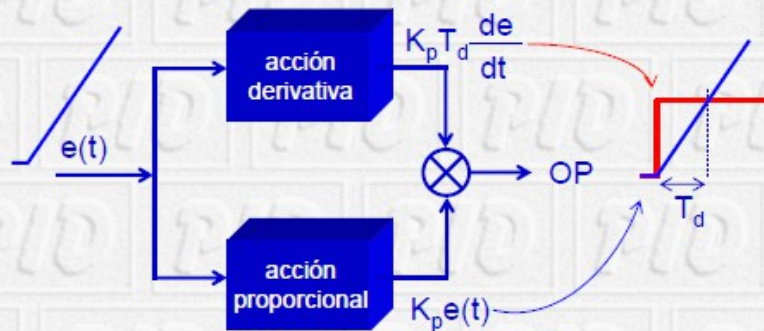


Constante de tiempo derivativa (T_d)

- ◆ El tiempo requerido para que la acción proporcional contribuya a la salida del controlador en una cantidad igual a la acción derivativa.

T_d pequeño \Rightarrow acción derivativa pequeña

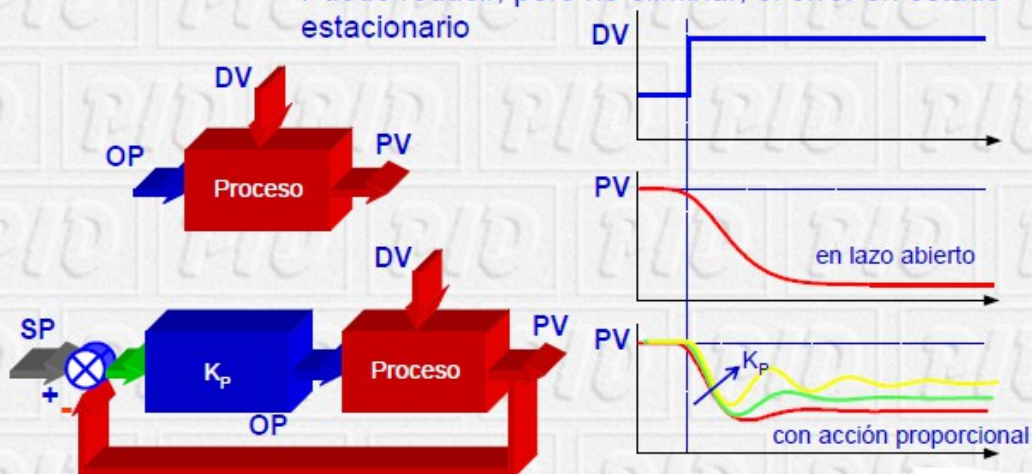
T_d grande \Rightarrow acción derivativa grande



Acción proporcional

- ◆ Produce una señal de control proporcional a la señal de error.

Características: Simple
Fácil de sintonizar (un solo parámetro)
Puede reducir, pero no eliminar, el error en estado estacionario



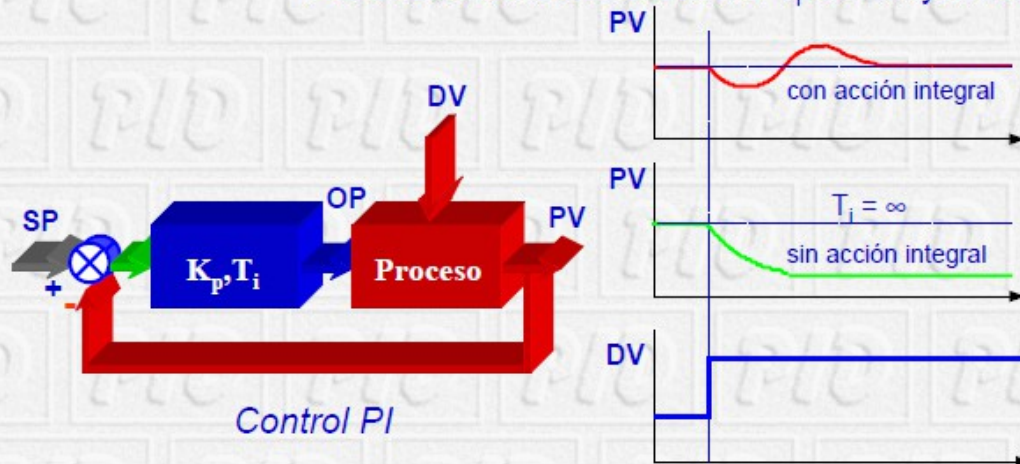
Acción integral

- ◆ Proporciona una corrección para compensar las perturbaciones y mantener la variable controlada en el punto de consigna.

Características: Elimina errores estacionarios

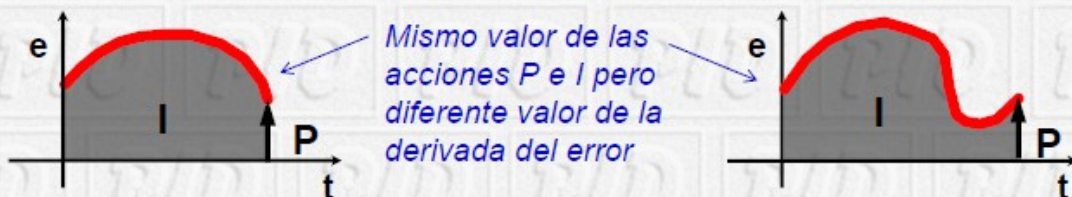
Más del 90% de los lazos de control utilizan PI

Puede inestabilizar al sistema si T_i disminuye mucho

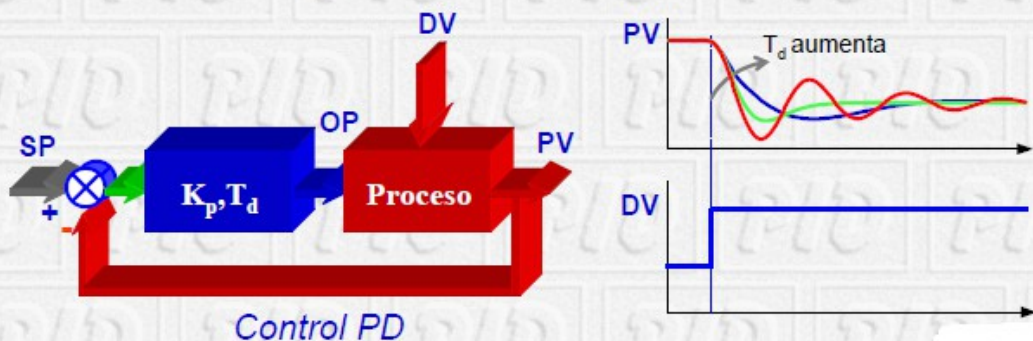


Acción derivativa

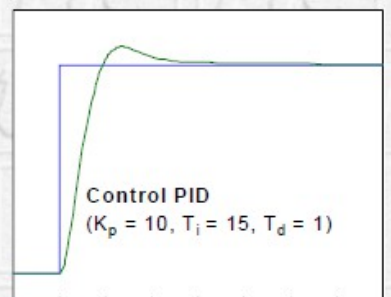
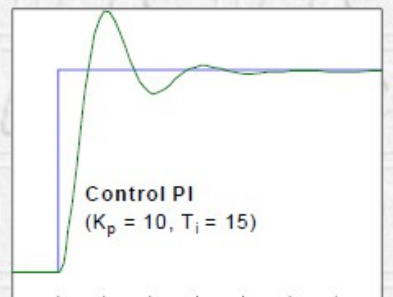
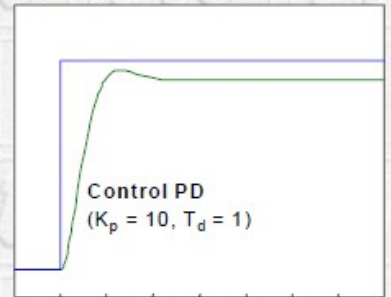
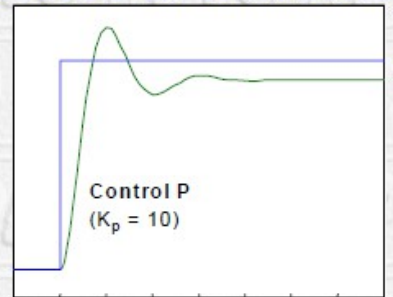
- ◆ Anticipa el efecto de la acción proporcional para estabilizar más rápidamente la variable controlada después de cualquier perturbación.



Mismo valor de las acciones P e I pero diferente valor de la derivada del error



Comparación de las acciones de control cuando se ha producido un cambio brusco en la referencia



Reglas heurísticas de ajuste

	K_p aumenta	T_i disminuye	T_d aumenta
Estabilidad	Se reduce	Disminuye	Aumenta
Velocidad	Aumenta	Aumenta	Aumenta
Error estacionario	No eliminado	Eliminado	No eliminado
Área de error	Se reduce	Disminuye hasta cierto punto	Se reduce
Perturbación control	Aumenta bruscamente	Aumenta gradualmente	Aumenta muy bruscamente
Frecuencia lazo	No afecta hasta cierto punto	Disminuye	Aumenta

◆ Paso 1. Acción Proporcional

- Tiempo integral (TI), a su máximo valor
- Tiempo derivativo (TD), a su mínimo valor
- Empezando con ganancia baja se va aumentando hasta obtener las características de respuesta deseadas

◆ Paso 2. Acción integral

- Reducir el TI hasta anular el error en estado estacionario, aunque la oscilación sea excesiva
- Disminuir ligeramente la ganancia
- Repetir hasta obtener las características de respuesta deseadas

◆ Paso 3. Acción Derivativa

- Mantener ganancia y tiempo integral obtenidos anteriormente
- Aumentar el TD hasta obtener características similares pero con la respuesta más rápida
- Aumentar ligeramente la ganancia si fuera necesario

◆ Lazos de caudal o de presión (dinámicas rápidas, sin retardos y perturbaciones de alta frecuencia): PI

◆ Lazos de nivel (combinación de varias dinámicas, sin retardo y perturbaciones de media frecuencia): PI o PID

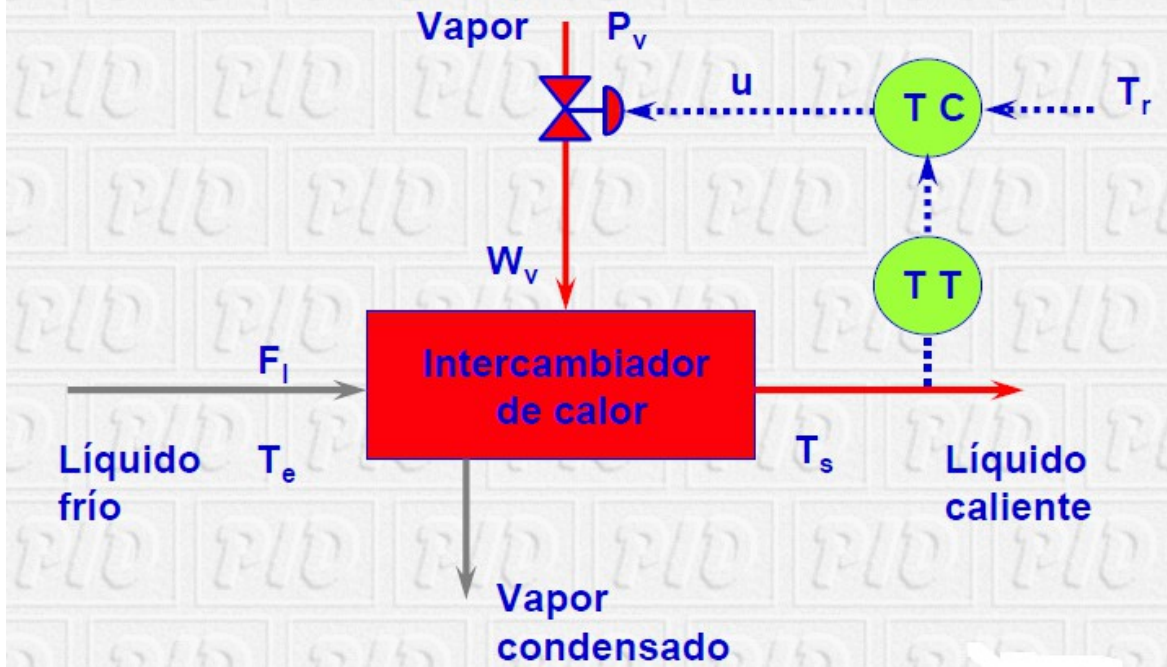
◆ Lazos de temperatura (dinámicas lentas, con o sin retardo y perturbaciones de baja frecuencia) : PI o PID

◆ Lazos de composición (predomina el retardo debido al analizador): PI, aunque se aconsejan otros tipos de controladores (predictor de Smith)

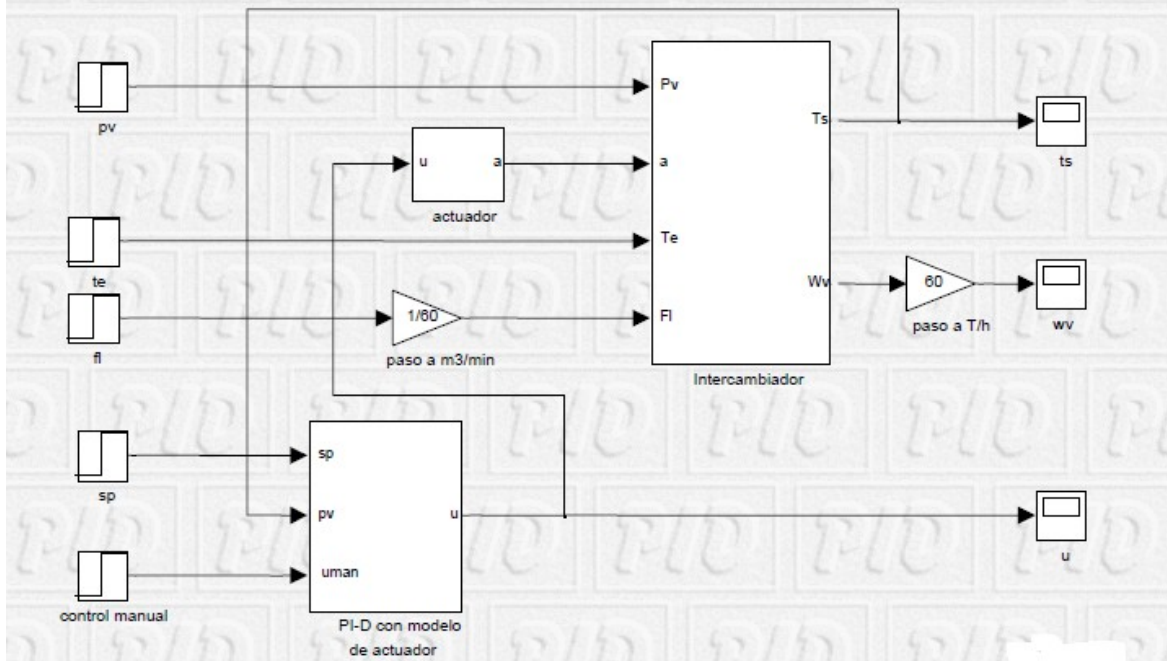
◆ Procesos integradores (procesos térmicos o ciertos lazos de nivel): PD o PID

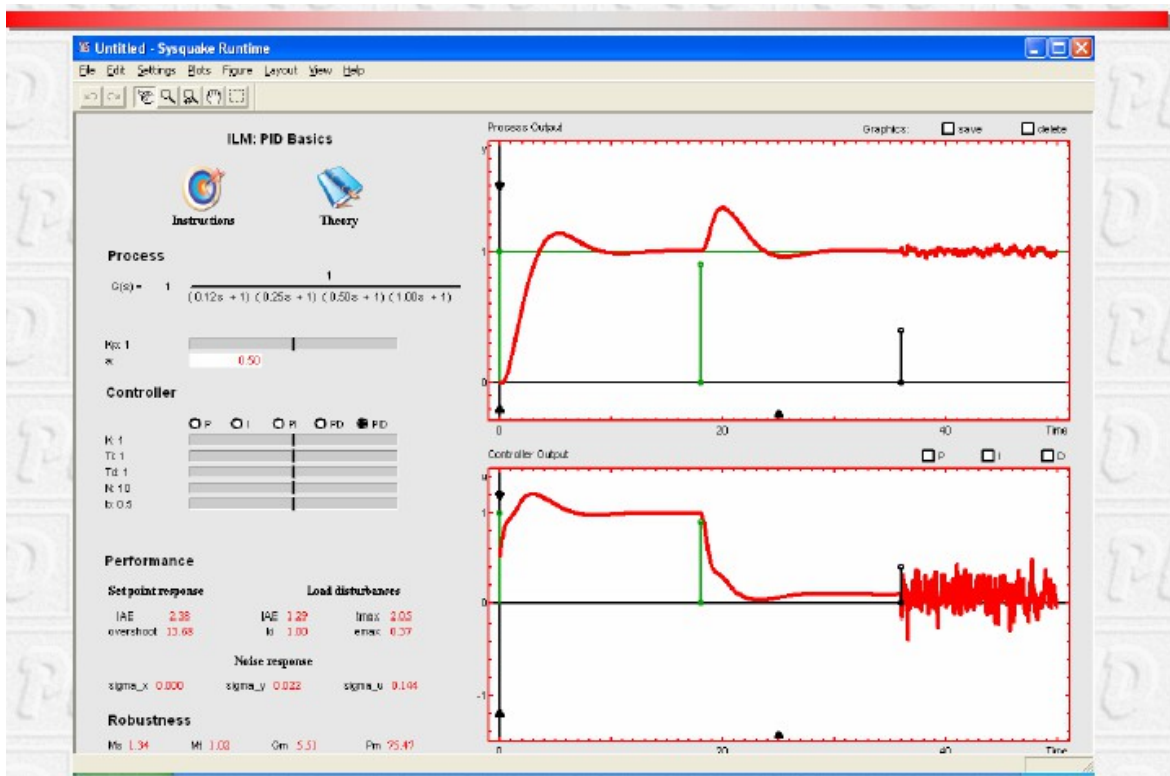
◆ Control en cascada: PI o PID en el lazo primario, P o PD en el secundario

Control de temperatura en un intercambiador de calor (Cap. 7)



Simulación en SIMULINK del control de temperatura en un intercambiador de calor





Ver mandos hidráulicos combinados

AUTOMATIZACIÓN

Objetivos

El Capítulo se centra en los aspectos de diseño de los sistemas de automatización. Es decir, desde el planteamiento de metodologías que permiten la aplicación de tecnologías en al ámbito de la producción industrial, hasta las recomendaciones en forma de diseño ergonómico de interfaces persona-máquina.

En algunas ocasiones se adopta el punto de vista de diseño centrado en el usuario ya que finalmente es el operario el encargado de realizar tareas de supervisión o control manual, pese a la incesante presencia de automatismos que facilitan la tarea.

Sistemas de automatización

La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la *automática* como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esta definición original se desprende la definición de la *automatización* como la aplicación de la *automática* al control de procesos industriales.

Por proceso, se entiende aquella parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de producto. Los procesos industriales se conocen como procesos continuos, procesos discretos y procesos *batch*. Los *procesos continuos* se caracterizan por la salida del proceso en forma de flujo continuo de material, como por ejemplo la purificación de agua o la generación de electricidad. Los *procesos discretos* contemplan la salida del proceso en forma de unidades o número finito de piezas, siendo el ejemplo más relevante la fabricación de automóviles. Finalmente, los *procesos batch* son aquellos en los que la salida del proceso se lleva a cabo en forma de cantidades o lotes de material, como por ejemplo la fabricación de productos farmacéuticos o la producción de cerveza.



El concepto de proceso está claramente relacionado con los conceptos de productos, programas, así como con la planificación de plantas, tal como muestra la figura. La estructura organizativa de la empresa debe contar con una clara relación entre estos conceptos, y para ello el ciclo de diseño está basado en la idea de ingeniería concurrente en la que diversos equipos desarrollan de forma coordinada cada uno de los diseños. En concreto es relevante centrarse en qué se va a producir, como y cuando se fabricarán los productos, qué cantidad de producto debe fabricarse,

así como especificar el tiempo empleado y el lugar en que se llevarán a cabo dichas operaciones. Estas cuestiones sobrepasan los límites del presente libro (Tompkins et. al., 2006), (Velasco, 2007).

En este punto es necesario hacer un breve inciso sobre los tipos de industria existentes y los problemas de control que se plantean en cada tipo de industria. Las industrias relacionadas con la automatización son básicamente la industria manufacturera y la industria de procesos. La industria manufacturera (*discrete parts manufacturing*) se caracteriza por la presencia de máquinas herramienta de control numérico por ordenador como núcleo de sistemas de fabricación flexible. En esta industria, destaca el uso de estaciones robotizadas en tareas de soldadura al arco o por puntos, pintura, montaje, etc., de forma que en la actualidad la necesidad de automatización es elevada si se desea ofrecer productos de calidad en un entorno competitivo. Uno de los temas principales a resolver en este tipo de industria es la planificación y gestión de la producción: asignación de tareas a máquinas, diseño del *layout* de la planta, sistemas flexibles que fabriquen diversos productos, políticas de planificación cercanas a la optimización, etc. En cuanto a la industria de procesos (*continuous manufacturing*), existen fábricas de productos de naturaleza más o menos continua, como la industria petroquímica, cementera, de la alimentación, farmacéutica, etc. Dentro del proceso de fabricación de estas industrias, se investiga en nuevas tecnologías, para la obtención de nuevos catalizadores, bioprocesos, membranas para la separación de productos, microrreactores, etc. En este tipo de industria, destacan la aplicación de algoritmos de control avanzado, - como, por ejemplo, el control predictivo -, o la formación experta de operarios de salas de control mediante simuladores. Respecto a las necesidades de automatización, la industria de procesos tiene un nivel consolidado en cuanto a salas de control con sistemas de control distribuido (DCS), y el uso de autómatas programables para tareas secuenciales o para configurar sistemas redundantes seguros ante fallos, entre otros elementos.

No hay que olvidar que las industrias -tanto la manufacturera como la de procesos- realizan grandes esfuerzos en la optimización del proceso. Algunas de ellas se centran en el aspecto de la calidad, mientras que otras se centran en el aspecto de los costes. Estos factores -mejora de la calidad del producto y disminución de costes en la producción- son los condicionantes fundamentales en estas industrias, y en este sentido la automatización industrial contribuye decisivamente desde que a finales de la década de los años setenta apareció el microprocesador, núcleo de los controladores comerciales presentes en el mercado como los autómatas programables, los controles numéricos y los armarios de control de robots manipuladores industriales.

En cuanto a la expresión *control de procesos industriales*, ésta abarca, desde un punto de vista académico, la teoría de control básica de realimentación y acción PID, la instrumentación de control (sensores, actuadores, dispositivos electrónicos, etc.), la aplicación a procesos industriales (como, por ejemplo, la mezcla de componentes en un reactor químico), las diversas arquitecturas de control (centralizado, distribuido), las estructuras de control (*feedback*, *feedforward*, *cascada*, etc.) y la teoría de control avanzada (control predictivo, control multivariable, etc.), por citar algunos de los aspectos más relevantes.

Ciñéndonos a los algoritmos de control presentes en las industrias citadas, cabe destacar el control secuencial y la regulación continua. El control secuencial propone estados (operaciones a realizar para la transformación de la materia prima en producto) y transiciones (información relativa a sensores o elementos lógicos como temporizadores o contadores) en una secuencia ordenada que identifica la evolución dinámica del proceso controlado. En la regulación continua, mediante la estructura de control clásica *feedback*, se aborda la acción de control proporcional, la acción de control derivativo o la acción de control integral, respecto al error

(diferencia entre la consigna y la medida de la variable de salida del proceso) para conseguir así una regulación adecuada de la variable (temperatura, caudal, nivel, etc.).

Respecto a instrumentación de control, los tres elementos básicos capaces de llevar a cabo el control secuencial o la regulación continua dentro del control de procesos industriales son el llamado autómatas programables PLC, el ordenador industrial y los reguladores industriales (tanto en versión analógica como digital). Estos tres elementos comparten protagonismo y es frecuente encontrar artículos de opinión donde se comenta el futuro de la utilización de los PLC ante las continuas mejoras del control realizado mediante ordenador. Disputas aparte, cada uno de estos elementos halla su aplicación en la industria actual, y es por ello que la tendencia en los próximos años sea la de continuar utilizando estos elementos.

Durante los casi ya treinta años de utilización de autómatas programables en la industria, conviene destacar su labor eficaz en el control secuencial de procesos. Una de las aplicaciones de mayor éxito es la combinación de autómatas programables con la tecnología neumática. Esta combinación ha permitido ofrecer soluciones de automatización basadas en el posicionamiento, la orientación y el transporte de material dentro de la planta, y es de gran ayuda en las tareas realizadas por otros elementos, como por ejemplo el robot manipulador industrial.

Los reguladores industriales son dispositivos generados de forma clara para la regulación continua de variables. Durante años, el regulador analógico tradicional ha sido el elemento capaz de controlar procesos en los que se requiere el control de temperatura, el control de caudal, o el control de presión, todos ellos ejemplos típicos de la ingeniería química. Con los avances en la electrónica digital y la informática industrial, los reguladores han pasado a ser controladores digitales autónomos, polivalentes desde el punto de vista de que se adaptan a un rango de tensiones y corrientes habituales en la automatización industrial, por lo que un mismo controlador está condicionado para la regulación de diversas variables. Además, hoy en día disponen de bloques lógicos de programación de forma que también pueden hacer frente al manejo de sistemas secuenciales. Una arquitectura abierta de estos controladores facilita la implementación de estructuras de control tipo cascada, o arquitectura de control distribuida mediante un bus de campo orientado al control de procesos, como por ejemplo el bus MODBUS.

El ordenador aparece en el control de procesos industriales a mediados de la década de los años cincuenta en la forma de control centralizado, una arquitectura en desuso hoy en día. Ya entonces el ordenador disponía de unas funciones, que siguen estando muy presentes en las industrias actuales: monitorización, vigilancia, control y supervisión. El ordenador es tan polivalente que puede utilizarse por sí mismo como elemento regulador de procesos sencillos, como por ejemplo mediante tarjeta de adquisición de datos AD/DA, y con el software adecuado, se pueden regular la temperatura y el nivel de un tanque en el que fluye un cierto caudal de agua entrante y saliente. Por otra parte, mediante la utilización del puerto de comunicaciones RS-232C, el ordenador puede conectarse físicamente al autómatas programables, al controlador digital autónomo, o al armario de control de un robot manipulador industrial, y así ampliar las posibilidades de interacción entre estos elementos. Finalmente, y gracias al desarrollo de las comunicaciones industriales, el ordenador puede formar parte de redes de ordenadores jerarquizados mediante la utilización de un bus de bajo nivel (bus AS-i), un bus de campo (PROFIBUS, CAN, por ejemplo) o una red de área local (Ethernet industrial).

Para finalizar este apartado, conviene destacar que la automatización contribuye al control automático del proceso y a relevar de esta tarea al operario, si consideramos que lo que interesa es la sustitución de la persona por un ente automático. En los complejos procesos industriales, se ha puesto de manifiesto la necesidad de cambiar del control automático al control manual por necesidades de reajustes en el algoritmo de control o ante anomalías en el proceso, de

forma que la automatización está contribuyendo, en un sistema de control abierto, a la intervención del operario, por lo que en estos casos no se trata tanto de sustitución sino de cooperación entre el operario y el controlador.

Fases para la puesta en marcha de un proyecto de automatización

Existen complejos procesos de automatización que requieren de la colaboración entre los diversos departamentos de una empresa (gestión, logística, automatización, distribución, etc.). En esta sección se enfoca el problema en concreto en la parte de automatización, desde el punto de vista del trabajo que debe realizar el ingeniero/ingeniera técnica. El marco metodológico consta de las fases siguientes, que el operario debe realizar:

1

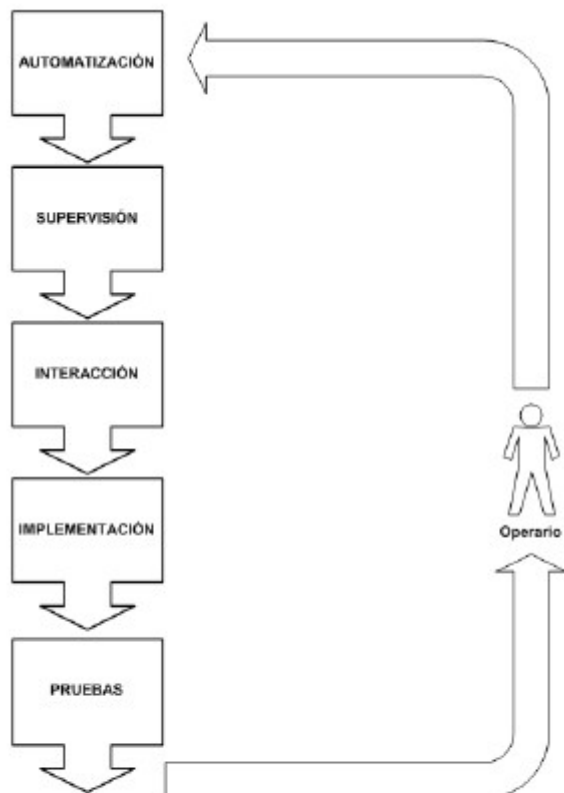
Automatización

Supervisión

Interacción

Implementación

Pruebas



En el caso de llevar a la práctica un proyecto de automatización, es necesario seguir las fases de la metodología presentada, así como indicar el tipo de operario o grupo de ellos encargados de llevar a cabo las fases por separado o el conjunto de ellas.

La figura ilustra la secuencia ordenada de fases. Es decir, si la metodología quiere llevarse a la práctica hay que seguir paso a paso el método de forma secuencial. Cabe destacar el rol del operario en este esquema. El operario lleva a cabo cada una de las fases; hace la transición entre una fase y la siguiente, y, finalmente, se encarga de proceder a una iteración para rehacer el primer ciclo para introducir mejoras.

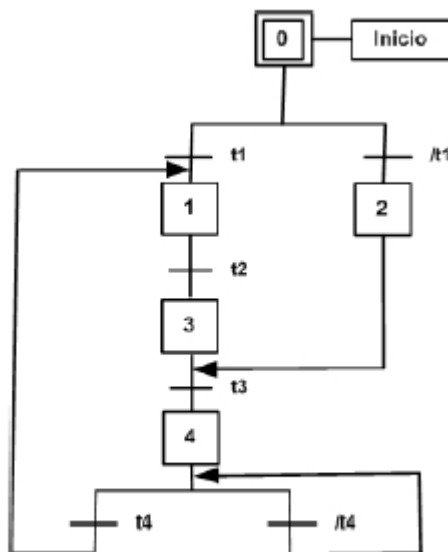
Las fases que aparecen en el marco metodológico no son conceptos puntuales; cada uno de ellas puede tratarse en profundidad. A continuación, se presenta tan sólo un breve resumen de cada una de las fases, ya que lo que se quiere constatar es la relación entre las fases y los aspectos dinámicos intrínsecos de cada fase.

Automatización

En esta fase elemental hay que desarrollar los pasos siguientes relacionados con el GRAFCET (Grafo de Estados y transiciones) y la puesta en marcha de automatismos:

- Observación del proceso a controlar y generación del GRAFCET de primer nivel en su descripción funcional.
- Selección del automatismo (autómata programable, regulador digital autónomo).
- Selección y cableado físico de sensores y actuadores, con las secciones de entradas y salidas del automatismo.
- Generación del GRAFCET de segundo nivel en su descripción tecnológica.

En estas líneas, la fase de automatización coincide con todas las propuestas que hacen las referencias bibliográficas básicas de automatización y autómatas programables. En la fase de automatización aparecen diversas tecnologías, entre ellas la sensórica y la neumática, supeditadas a su conexión física con el automatismo (autómata programable, por ejemplo). La representación del control secuencial sobre el proceso se representa mediante GRAFCET. A partir de estas líneas, el GRAFCET generado pasa a denominarse GRAFCET de producción, en asociación con el módulo de producción.



Una vez la fase de automatización ya está consolidada, hay que establecer la fase de supervisión.

Supervisión

A continuación, en esta segunda fase, hay que desarrollar los pasos siguientes:

- Hay que reunir el máximo de especificaciones a priori sobre los estados posibles en las que se puede encontrar una máquina o un proceso, según la experiencia del agente encargado de la automatización o según las peticiones del cliente.

- Hay que definir los módulos a utilizar según la complejidad del problema (seguridad, modos de marcha, producción) y representar gráficamente el caso de estudio mediante los estados y las transiciones de la guía GEMMA (Guía de Estudios de modos de marcha y paro).

- Para cada módulo, hay que generar un GRAFCET parcial. Cabe destacar que en el caso de producción, el GRAFCET de producción ya se ha generado en la fase de automatización, de manera que lo que hay que establecer aquí es la relación con el resto de módulos. En el caso del módulo de modos de marcha el GRAFCET de conducción promueve la activación y desactivación del módulo de producción, que normalmente presenta un desarrollo secuencial cíclico. Finalmente, mediante el módulo de seguridad, el GRAFCET de seguridad pertinente vigila los dos módulos anteriores ante la posible aparición de fallos o situaciones de emergencia en el sistema automatizado.

- Los GRAFCET parciales se integran de forma modular y estructurada en un solo GRAFCET general que contemple todos los módulos enunciados en función de la complejidad del problema, mediante las reglas de forzado y las reglas de evolución.

- El operario procede a la supervisión cuando está vigilando la evolución del proceso controlado automáticamente, y está atento a la presencia de posibles imprevistos que merezcan activar el módulo de seguridad e intervenir directamente en el mismo.

Conviene indicar que GRAFCET muestra el control secuencial a modo de etapas de funcionamiento de la máquina/proceso, mientras que la guía GEMMA muestra la presencia de las acciones del operario humano en forma de estados de parada, funcionamiento y fallo.

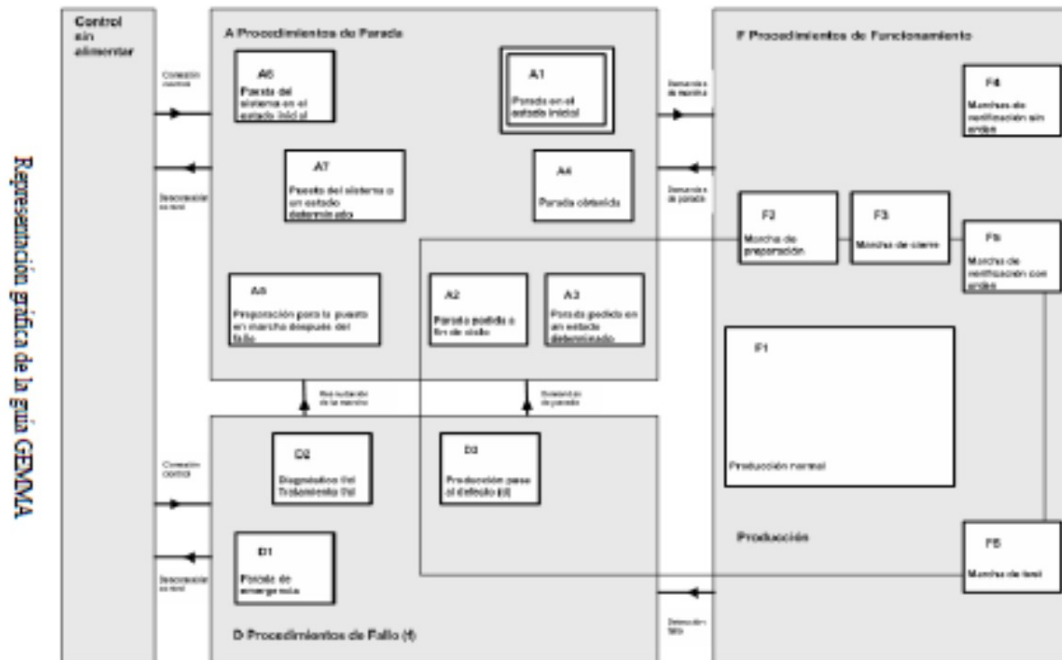
Una vez la fase de supervisión ya está consolidada, hay que establecer la fase de interacción.

Interacción

En la interacción entre la supervisión humana llevada a cabo por el operario y el proceso controlado por parte del automatismo, hay que concretar la intervención del operario mediante el diseño del panel de mando en función de las acciones físicas sobre dispositivos y la recepción de señales informativas visuales o acústicas.

Los dispositivos concretos a utilizar dependen de los módulos definidos en la fase denominada *supervisión*. En concreto, presentamos una disposición básica de dispositivos en la siguiente sección. Para el diseño del panel de mando se utilizan conceptos que aparecen en la normativa de seguridad en máquinas, así como especificaciones ergonómicas y el conjunto de situaciones a tratar mediante la guía GEMMA. La siguiente sección muestra en detalle esta integración. En función de la complejidad del problema, el operario debe conocer qué dispositivos necesita y si el panel es el adecuado o conviene hacer mejoras.

En automatización industrial, existe una gran diversidad de dispositivos, que se engloban en lo que se conoce como interfaz persona-máquina (*HMI human-machine interface*). La comprensión de la fase de interacción es vital para que el usuario pueda clasificar las diversas situaciones que se dan en el sistema automatizado y procesar la información e intervenir con coherencia.



Una vez realizadas las fases de automatización, supervisión e interacción, y antes de seguir con el resto de fases, el operario puede rehacer convenientemente cada una de ellas a medida que aumenta el conocimiento experto del funcionamiento del sistema. A continuación, se procede a las fases de implementación y pruebas.

Implementación

Sin duda, ésta es la parte más práctica del método y escapa a las pretensiones de este libro. Son sus pasos más significativos:

- Selección del lenguaje de programación del automatismo.
- Traducción de GRAFCET a lenguaje de programación.

Esta fase requiere las habilidades prácticas del operario en la programación de automatismos. Respecto a la traducción de GRAFCET a lenguaje de programación de autómatas –como, por ejemplo, el esquema de contactos-, algunos usuarios utilizan el GRAFCET de tercer nivel en su descripción operativa. Otros usuarios prefieren pasar directamente el GRAFCET de segundo nivel, en su descripción tecnológica, al formato de esquema de contactos. Existe otra posibilidad, que es la formulación de las etapas y transiciones del GRAFCET en la forma de biestables S/R (S *set*, R *reset*). Cabe destacar que el usuario debe respetar las singularidades observadas, ya que cada casa comercial genera su lenguaje de programación conforme a unas normas propias de diseño, de manera que lo único que queremos recalcar aquí de forma genérica es que la representación formal de la guía GEMMA ha de implementarse adecuadamente en el autómatas programable correspondiente.

Una vez la fase de implementación está consolidada, hay que establecer la fase de pruebas.

Pruebas

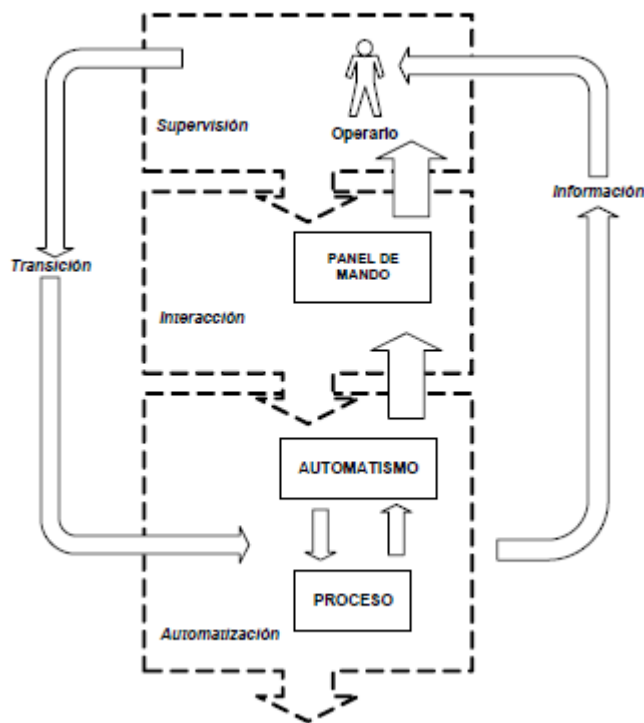
Una vez implementado el algoritmo general sobre el automatismo, el operario puede verificar dicho algoritmo por partes; vigilar la evolución del proceso o interactuar con el proceso controlado mediante el panel de mando, e incluso puede emular situaciones de emergencia para analizar cómo responde el sistema automatizado ante la implantación de la guía GEMMA.

Frente a situaciones problemáticas, el operario puede depurar los algoritmos parciales, o añadir más estados que inicialmente no se habían tomado en consideración y rehacer el algoritmo general.

Evidentemente, para afrontar problemas complejos se recomienda dividir el problema en módulos funcionales básicos, y así poder rehacer el algoritmo de forma metódica sólo en las partes a rehacer. Conviene tener muy clara la identificación del aspecto a resolver y clasificar, si es posible, a qué fase corresponde.

La comprensión del método genérico que se acaba de exponer pasa por la amplia experiencia en el sector industrial de la automatización y claramente por la puesta en práctica de las ideas aquí expuestas.

La figura anterior muestra las diversas fases secuenciales e iterativas y constituyen un ejemplo de cómo estructurar un proyecto de automatización coherente atendiendo a las tecnologías necesarias para su desarrollo. Al incluir una fase de interacción, debe quedar claro que el operario forma parte del sistema persona-máquina diseñado, de ahí que una nueva figura puede clarificar el rol de la tarea del operario.



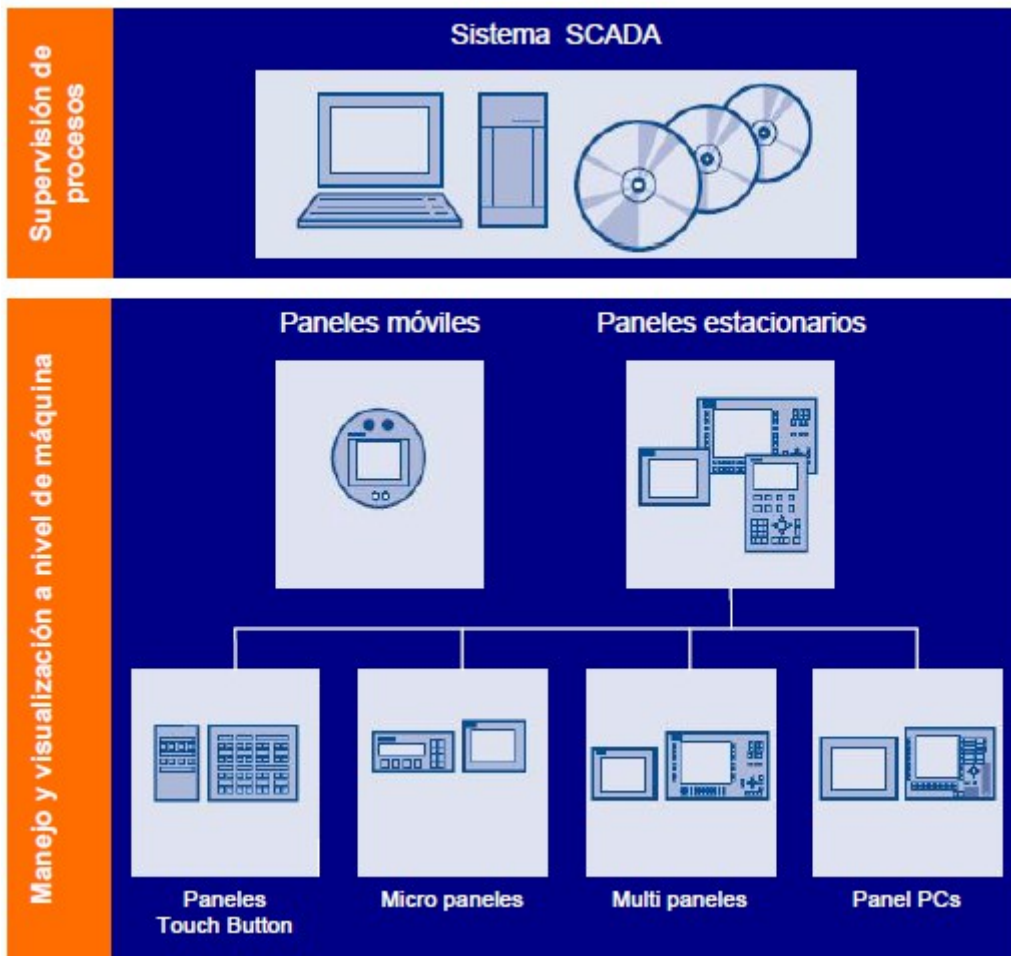
Centrando el tema de nuevo en la guía GEMMA, es conveniente no perder de vista las fases de supervisión e interacción, ya que en este libro se considera que la fase de automatización ya está realizada previamente, mientras que las fases de implementación y pruebas pertenecen al dominio práctico del puesto de trabajo.

Así, el operario encargado de llevar a cabo la puesta a punto de la guía GEMMA tiene una tarea interna más restrictiva. Si hace frente a un problema complejo, lo dividirá y afrontará de forma modular, y de forma iterativa irá completando el análisis hasta obtener una guía adaptada al problema en cuestión. Para mostrar en detalle las tareas de este operario la siguiente figura se acerca a los diagramas característicos que aparecen en las referencias bibliográficas sobre supervisión.

El operario vigila el proceso controlado y puede decidir intervenir en el momento oportuno mediante la actividad sobre el panel de mando; la tarea del operario se complementa con su acceso al proceso para resolver *in situ* problemas de la producción.

Clasificación de interfaces persona-máquina

Las HMI *human-machine interfaces* destinadas a la automatización industrial se pueden clasificar en dos grupos: de supervisión de procesos (basadas en SCADA *Supervisory Control and Data Acquisition*) y las de manejo y visualización a nivel de máquina (basadas en paneles). A su vez las HMI de manejo y visualización a nivel de máquina se subdividen en dos grupos: paneles móviles y estacionarios.



Teach pendant para robot industrial

El teach pendant en robótica industrial es un tipo de interfaz HMI diseñada para la programación y verificación de los programas a ejecutar por parte del robot industrial. De los diseños anteriores basados en un display que solo mostraba una línea de instrucciones, se ha pasado a displays que muestran menús desplegables. Esta interfaz acoge la tarea del operario en robótica que debe programar el robot en la tarea industrial programada, por lo que la interacción entre el operario, el robot y diversos elementos de automatización lleva consigo la mejora de la interfaz en cuanto a manejo. Aquí se mezcla la aplicación de normativas de seguridad en máquinas junto al diseño ergonómico eficaz.



Una de las últimas funcionalidades añadidas a los teach pendant de robots industriales es la posibilidad de considerar la situación de pánico. Habitualmente el operario disponía de la palanca *dead man*, palanca que debía mantenerse presionada en el teach pendant mientras se hacía mover cada uno de los ejes del robot. Al dejar de presionar dicha palanca, el robot dejaba de moverse para prevenir una posible colisión entre operario programador y el robot. Considerando que en una situación de emergencia, la tendencia del operario en situación de pánico es apretar con más fuerza dicha palanca, se descubrió experimentalmente que seguían produciéndose accidentes, por lo que a las dos posiciones anteriores se añade un tercer estado, el de pánico, de forma que cuando el operario apreta desmesuradamente la palanca, el sistema interpreta que hay una inminente situación de accidente, por lo que se bloquea también los movimientos del robot industrial.

Tablet PC

Las Tablet PC's son equipos portátiles conectados al equipo principal mediante un sistema Wireless, y que permite que el operario, moviéndose libremente en planta, pueda acceder a la información, adquirirla, tratarla y compartirla o enviarla a la aplicación gráfica que se encuentra en la sala de control principal.

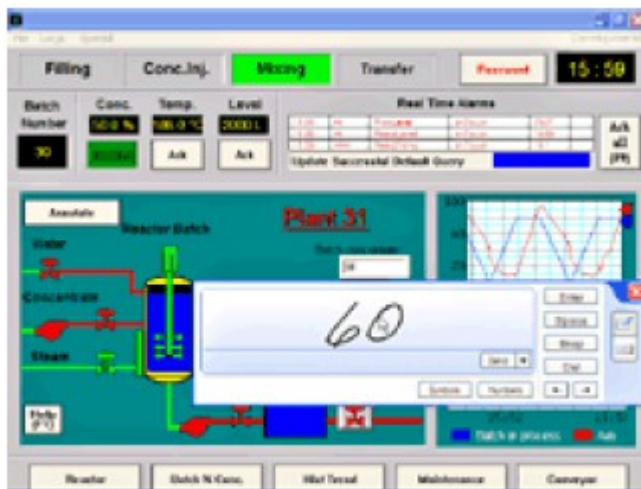
El dispositivo como puede observarse en la siguiente figura, se trata básicamente de un panel de dimensiones más que aceptables (unas 14", es decir, las mismas dimensiones que las antiguas pantallas de ordenadores de sobremesa) y suficientemente robustos para soportar entornos industriales.

Su principal handicap es su ergonomía, pero no tanto por lo que se refiere a su interfaz, porque de hecho funciona como un ordenador de sobremesa con una edición especial de Windows XP y por lo tanto dispone del mismo entorno gráfico que cualquier dispositivo SCADA de la aplicación, sino por el hecho de no disponer de teclado. Por eso, las soluciones que propone el fabricante se encaminan a asemejar al máximo la Tablet PC a un cuaderno, en el que se puedan tomar anotaciones mediante los clásicos bolígrafos de agenda electrónica.



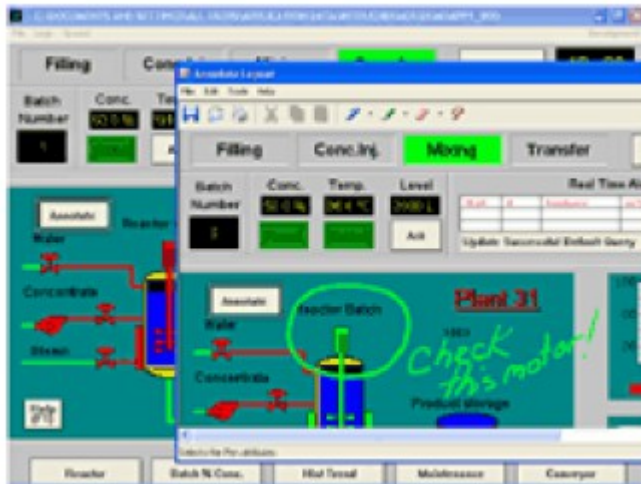
Por lo tanto, lo que el fabricante destaca como características técnica diferenciadora de estos dispositivos es su facilidad para introducir información en la Tablet PC, con la finalidad de cambiar parámetros del sistema y que sean reconocidos y para que en una tarea de supervisión, se puedan tomar anotaciones y que éstas puedan ser analizadas a posteriori.

Para la introducción de parámetros, la Tablet PC permite introducir información mediante el bolígrafo o bien mediante la propia escritura del operador y que esta información sea interpretada. Por ejemplo, en la figura siguiente se puede observar como el dispositivo permite cambiar el valor de algún parámetro del sistema introduciendo el número 60 y que debe ser reconocido automáticamente por la aplicación de la Tablet :



Si esta interpretación de la escritura del operario no funcionara correctamente, también existe la posibilidad de utilizar el bolígrafo para “mecanografiar” la información a través de un teclado en pantalla.

Si lo que se desea es realizar una anotación para ser enviada o para tenerse en cuenta posteriormente, pero que en definitiva no requiere que sea interpretada por el sistema, también se permite capturar pantallas y realizar anotaciones para ser guardadas como imagen (formato gif o jpeg). La figura siguiente permite observar esta funcionalidad:



Esta imagen puede guardarse o bien enviarla utilizando la red inalámbrica a una impresora o como archivo adjunto de un mail. En lo que se refiere a la red inalámbrica cabe destacar la utilización de la tecnología Wi-Fi tan extendida en la actualidad en múltiples aplicaciones tanto profesionales como de gran consumo.

La Tablet PC dispone de otras características ergonómicas como el cambio de orientación de la información en pantalla, es decir, permite pasar de formato vertical a formato apaisado. Esto puede ser útil porque puede ser más cómodo utilizar la Tablet en modo vertical cuando el operador se desplaza y en modo horizontal cuando se instala en su soporte (ver figura siguiente):



Diseño de panel de mando para automatismos y máquinas industriales

Los sistemas persona-máquina están sujetos a los avances tecnológicos, de ahí que de forma periódica se producen avances en robótica, controladores lógicos, máquinas industriales, equipos de seguridad, equipos de supervisión, etc. Este escenario dinámico inacabado también es aplicable en el caso del panel de mando, y un problema abierto es la creación de especificaciones genéricas para el diseño y la utilización de paneles de mando. El panel de mando forma parte del conjunto de dispositivos HMI, interfaces persona-máquina presentes en sistemas de automatización industrial (terminales programables, monitor con pantalla táctil, botonera de programación, terminal móvil en supervisión de plantas industriales). La diversidad de dispositivos se extiende también a otros ámbitos como por ejemplo en nuestra sociedad y en la aplicación de tecnologías de ayuda para personas con discapacidad, o en el ámbito de la automatización de viviendas mediante equipos domóticos.

En esta sección se presenta la integración de diversas áreas como la ergonomía, la ingeniería de la usabilidad y la normativa de seguridad en máquinas, para el diseño de un panel de mando en

el que el operario pueda llevar a cabo la fase de intervención presente en la guía GEMMA. Sirva de ejemplo de cómo a nivel industrial es posible incluir el diseño ergonómico.

Especificaciones

Actualmente, hay una gran diversidad de paneles, tanto en el ámbito académico como en el industrial. En el ámbito académico, algunos fabricantes de sistemas automatizados didácticos ofrecen un panel de mando simplificado basado exclusivamente en funciones básicas de marcha/paro y parada de emergencia (ver el panel de mando de la figura).

Este tipo de panel permite implementar algunos casos de la guía GEMMA pero presenta la limitación de no ofrecer un panel completo con dispositivos informativos visuales, y, en determinadas situaciones experimentales, algunos controladores son utilizados con finalidades distintas, según sea la situación que hay que tratar, ya que se puede reprogramar el algoritmo. Así por ejemplo, algunos de nuestros estudiantes de ingeniería han utilizado el botón de Reset en algunas ocasiones como botón de Paro convencional.



Panel de mando académico únicamente formado por controladores sin la presencia de dispositivos informativos visuales DIV

En el ámbito industrial, se encuentran paneles básicos a pie de máquina o mediante soporte a la altura de los ojos del operario. Si la máquina incorpora diversos componentes periféricos, es fácil encontrar diversos paneles que incorporan pulsadores y selectores a lo largo de la máquina, como por ejemplo para poner en marcha una cinta transportadora, para accionar una subestación de montaje o para dirigir las actividades de una máquina-herramienta de CNC, por ejemplo. Los paneles con soporte vertical situados en el campo visual del operario incluyen más elementos, como por ejemplo pulsadores con LED indicador incorporado, selectores de modo de funcionamiento, o bien diversos LEDs indicadores informativos del estado de funcionamiento de componentes de la máquina. En algunos casos, el panel se complementa con balizas de señalización representadas por columnas de LEDs en forma de semáforo (luz fija, intermitente, *flash*) y con incorporación de señales acústicas (zumbador, sirena).

Estos componentes cumplen con diversas especificaciones de seguridad en máquinas, como por ejemplo el grado de protección IP 54 o IP 65. Por una parte, el dispositivo debe cumplir ciertas especificaciones para la utilización para la que ha sido diseñado; por otra parte, estos dispositivos forman parte de máquinas complejas, en que se amplía el sentido de seguridad del dispositivo a la seguridad intrínseca de la máquina que todo fabricante debe prever antes de ofrecerla al mercado.

Uno de los aspectos recogidos en estas normas es la asociación del dispositivo con un color concreto y una finalidad fijada. Así, un pulsador de marcha se representa mediante el color verde. El pulsador de paro convencional se representa mediante el color negro. Un pulsador de rearme (Reset), es decir, cuando se suprimen las condiciones anormales y se reestablece el ciclo automático interrumpido, se representa mediante el color amarillo o el azul. La parada de emergencia se representa con un dispositivo que se llama *paro de emergencia* y consta de una seta de color rojo dentro de un círculo amarillo, y es de un tamaño netamente mayor al resto de

pulsadores. El selector de posiciones se representa mediante el color negro, con una pestaña de color blanco.

Los dispositivos informativos visuales suelen construirse sobre un chasis plastificado exterior en el mismo color que el que emerge del componente electrónico interior, normalmente un diodo emisor de luz, o led. En este texto, a estos dispositivos indicadores visuales los llamaremos a partir de estas líneas como LEDS para simplificar la notación.

En cuanto a los LEDS indicadores si se dispone de un LED con luz blanca se asocia a una información general de servicio, como por ejemplo la presencia de tensión en la máquina. Un LED amarillo (ámbar) indica precaución. Estamos ante una alarma que puede conducir a una situación peligrosa, como por ejemplo que se indique que la presión está fuera de los límites habituales de funcionamiento. El LED verde indica que la máquina está preparada para entrar en funcionamiento. El LED rojo indica una situación de fallo que requiere de la intervención inmediata del operario.

Recientemente han aparecido dispositivos que integran la función de controlador e indicador de información. Un mismo dispositivo presenta un pulsador con LED incorporado, de manera que cuando se procede a pulsar el dispositivo, se activa el LED correspondiente; cuando el operario deja de presionar el dispositivo, éste retorna a la posición original y se desactiva el LED.

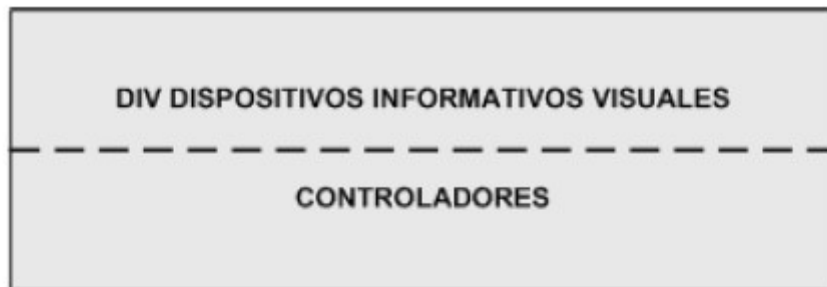
Diseño

Llegados a este punto, se observa que las normativas correspondientes a la seguridad en máquinas informan de especificaciones sobre los dispositivos, considerados de forma individual. La guía GEMMA, por su parte, indica en la fase de intervención el panel de mando básico que necesita el operario para poder ejercer la supervisión. A estos dos factores hay que añadir la aplicación de la ergonomía al diseño del panel de mando.

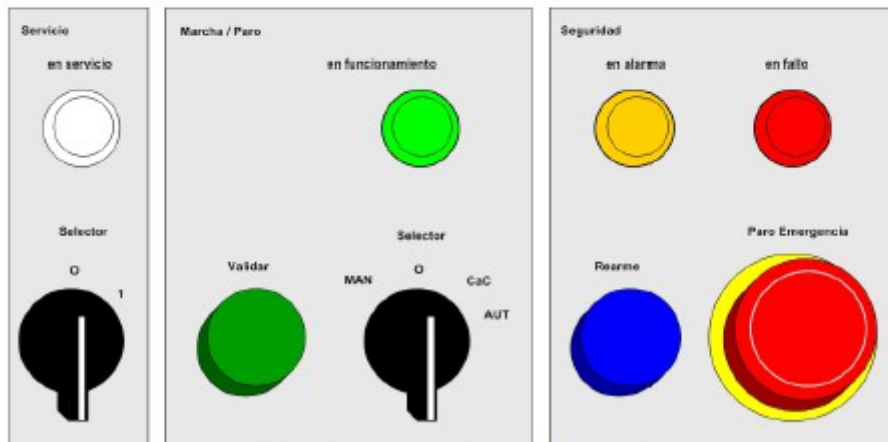
En las líneas siguientes se presentan una serie de indicaciones que se pueden tener en cuenta para el diseño de paneles de control. En este sentido, los autores consideran que es necesario mostrar pautas que conduzcan a la creación de paneles de mando sin ambigüedades ya que un panel de mando con los dispositivos desordenados puede provocar la duda o la mala interpretación del procesamiento de información que hace el operario e inducir a algún error en la ejecución de acciones sobre los controladores.¹

En primer lugar, una primera distinción: funcionalidades del panel de mando distribuidas horizontalmente y verticalmente (véase la siguiente figura). A nivel horizontal, los dispositivos de información visual DIV se sitúan en la parte superior del panel y los dispositivos controladores se sitúan en la parte inferior del panel. En este sentido, es importante mantener la coherencia. Respecto los LEDS indicadores, se considera que presentan dos estados posibles básicos (activo, inactivo). En este contexto, se entiende por dispositivos controladores aquellos sobre los que el operario puede ejercer una acción que se transmite al comportamiento del automatismo y del proceso.

A nivel vertical, y atendiendo a la representación gráfica de la guía GEMMA, se dispone tres niveles. A la izquierda, se representa la situación de servicio, en correspondencia con el primer rectángulo de la izquierda que se dibuja en la guía GEMMA



División horizontal del panel de mando



División vertical del panel de mando

En el centro, los dispositivos asociados a los modos de marcha y paro convencional. Finalmente, a la derecha, se disponen los dispositivos asociados a la seguridad. Se prefiere no situar el paro de emergencia en medio del resto de dispositivos y se ha situado abajo a la derecha para facilitar la accesibilidad sin ambigüedades.

Esta agrupación vertical de controladores y DIV según una funcionalidad específica sigue los principios de agrupación elaborados por los expertos en factores humanos (Cañas, 2004). La idea básica es que la agrupación de dispositivos DIV y controladores que comparten la misma funcionalidad en un mismo bloque vertical facilitarán el reconocimiento de la situación por parte del usuario. En este panel, cuando se active el LED de fallo, se está recomendando al operario que active el Paro De Emergencia, de ahí que se agrupen estos elementos. La descripción operativa de funcionamiento normal o anormal ante una emergencia escapan a las pretensiones de este libro ya que conviene abordar la guía GEMMA con mucho más detalle (Ponsa y Vilanova, 2005).

La figura muestra la división vertical. En la parte de servicio se dispone un selector (0, 1), de manera que es el propio operario el que procede a poner en servicio la máquina o proceso; el LED blanco indica esta acción. En la parte de modos de marcha/paro el operario dispone de un selector de cuatro posiciones (MAN, 0, CaC, AUT).

La ordenación de modos en el selector de marcha/paro no es aleatoria. El modo 0 separa el lado izquierdo, en el que se selecciona el control manual humano, de los modos a la derecha de 0, que servirán para seleccionar diversos modos de control automático. En la programación y puesta en marcha de artefactos (robots, máquinas, automatismos) realizada por un operario es importante llevar a cabo un procedimiento típico que difiere de aquellas situaciones en las que el operario es experto y acumula centenares de horas de experiencia con el sistema automatizado. La ingeniería de la usabilidad nos ayuda en este sentido. En primer lugar, el

operario realiza algunos pasos o etapas en modo manual. Cuando está seguro de los pasos, realiza el programa o ciclo completo. Es el ejemplo típico de la programación de un nuevo programa en un robot industrial: el operario valida cada movimiento del robot mediante una acción sobre la botonera de control; cuando finaliza la ejecución paso a paso, el operario decide que el robot ya puede realizar el programa completo a velocidad moderada. En la figura el modo CaC permite que el operario pueda observar el ciclo completo llevado a cabo por el automatismo sobre el proceso y detenerlo al final para proceder a revisiones y cambios. Una vez el operario está seguro del desarrollo del ciclo, puede escoger el modo automático AUT del selector. De ahí que, de izquierda a derecha se haya ordenado los modos en el selector como MAN, CaC y AUT.²

El modo 0 permite al operario detener la máquina en un instante concreto, sin perjuicio del funcionamiento de la misma. La selección de 0 implicará que se desea parar la máquina al cabo de un instante, en contraste con CaC que significa el paro de la máquina al finalizar el presente ciclo. Las opciones MAN/AUT permiten el paso de control semiautomático a automático, y viceversa. El selector se complementa con un pulsador, de forma que realmente el operario primero selecciona y luego valida su decisión presionando el pulsador, y así evita situaciones accidentales que se podrían dar de manera fortuita. El LED indicador de color verde informa del funcionamiento.

En la parte de seguridad se dispone del paro de emergencia y del pulsador de rearme para el reestablecimiento del ciclo. Los LEDs indicadores mostrados informan de un posible fallo de un dispositivo (en este caso, de un sensor o de un actuador) y de una situación de alarma (en la que hay que estar precavidos ante un posible agotamiento de materia prima, por ejemplo). Nótese que los LEDs quedan ordenados de izquierda a derecha como en un semáforo, verde, ámbar, rojo, lo cual facilita que el operario asemeje este escenario a su representación mental, basada en el sentido común, y sea coherente con otras representaciones presentes en la sociedad.

La integración de las funcionalidades expresadas en forma de niveles verticales y horizontales, junto a las especificaciones de seguridad en máquinas y las situaciones expresadas en la guía GEMMA, permite el prototipo final del panel de mando. Si el proceso de aplicación de la guía GEMMA es iterativo ello implica que el diseño del panel de mando también puede completarse con algún dispositivo más, tal como se ilustra en el apartado siguiente.

Utilización

Una vez el panel de mando está definido, se puede hacer una asociación de ideas entre las situaciones presentadas en la guía GEMMA y la intervención del operario sobre el panel de mando. Así, por ejemplo, se va a considerar el panel de mando académico del principio de esta sección. Se quiere llevar a cabo una situación típica en la guía GEMMA, que se denomina *la marcha por ciclos y paro a fin de ciclo*. Sobre el panel didáctico el operario dispone el selector MAN/AUT del panel en modo automático y la validación se lleva a cabo sobre el pulsador de marcha MARCHA. Ello permite la transición del estado A1 (estado inicial en reposo) a F1 (estado de funcionamiento normal) en la representación gráfica de la guía GEMMA (ver la figura de la guía GEMMA). Para concretar el paro solicitado a fin de ciclo, se observa que el panel de mando no presenta en el selector la opción CaC. Una posibilidad de llevar a cabo este paro sería utilizar el pulsador RESET para este fin. Para no crear ambigüedades en el uso de este panel de mando se propone una propuesta de mejora con la posibilidad de incluir un pulsador con la finalidad de paro a fin de ciclo CaC. Cabe destacar que el panel de mando comentado puede ser un panel ya diseñado por la casa comercial, y así se suministra al cliente, pero cualquier ingeniero técnico puede adquirir los componentes (caja, etiquetas, pulsadores, selectores, etc.) y generar él mismo un panel de mando a medida.



Uso del panel de mando académico

En la situación de la guía GEMMA denominada *marcha de verificación con orden*, es habitual que el operario cambie de modo automático a manual y proceda a la verificación de acciones paso a paso. Este caso se ilustra mediante la siguiente figura.

En el paso 1-2 el operario pasa de modo automático AUT a manual MAN. En este caso, el pulsador de marcha del panel de mando MARCHA es usado como pulsador de verificación de las etapas del control secuencial, y esta acción del operario es imprescindible para pasar a la etapa siguiente. Obsérvese que en este panel académico el pulsador de marcha ha cambiado de funcionalidad en función de la situación. Este detalle se ha evitado en el panel propuesto ya que puede inducir a una mala interpretación de la situación. Para evitar esta duplicidad de finalidades asociadas a un mismo controlador, se propone, por ejemplo, añadir un subpanel opcional.



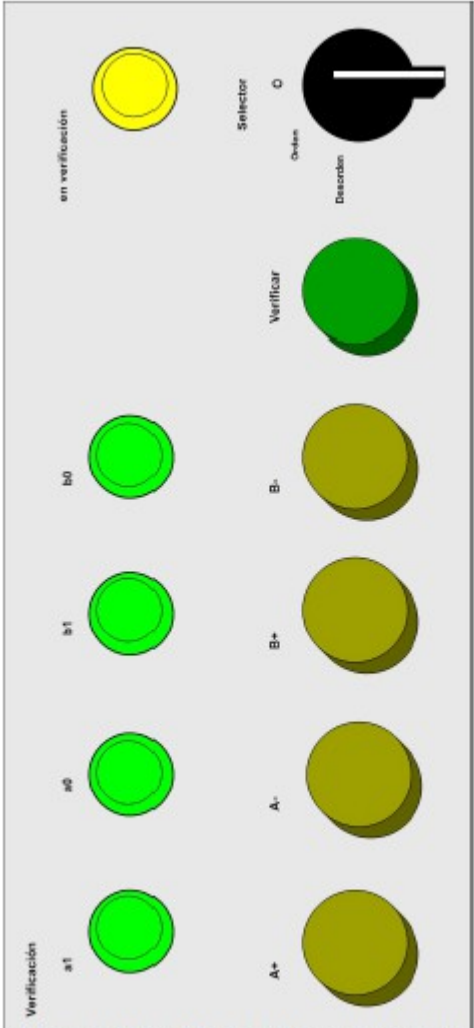
Secuencia de uso en el panel de mando académico

En primer lugar, partiendo del panel de control ergonómico de la Figura ZX el operario selecciona el modo manual y valida su decisión sobre el pulsador. A continuación el operario fija su atención en el subpanel opcional. El operario selecciona la verificación en orden/desorden.

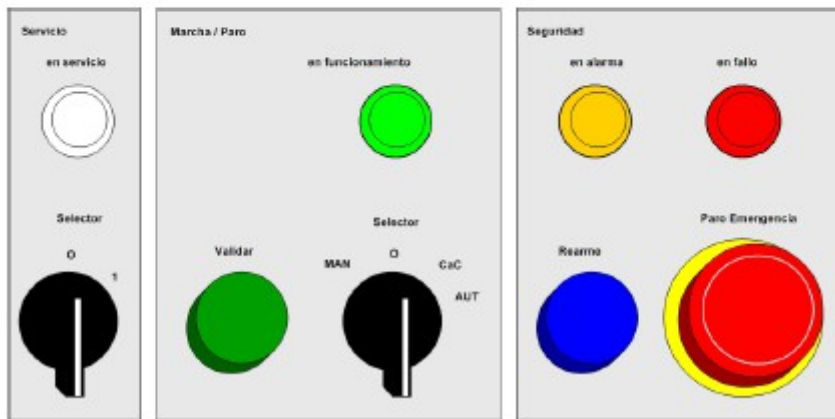
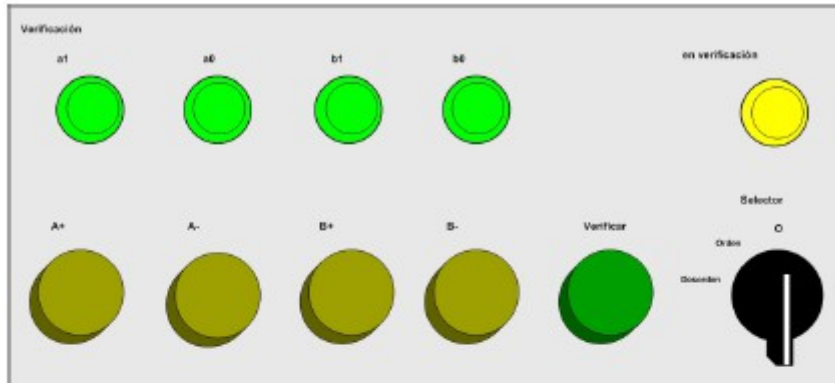
Obsérvese que el operario debe girar a la izquierda los selectores, el primero para el modo MAN y el segundo para escoger Orden o Desorden, y finalmente validar mediante el pulsador. En la situación de verificación en orden, el operario inspecciona visualmente la situación y dispone de un pulsador para verificar cada una de las etapas del ciclo. En la situación de verificación en desorden, el operario puede accionar cualquier dispositivo en el orden que quiera.

Por ejemplo, en la figura se representan las acciones sobre dos cilindros neumáticos de doble efecto A (A+ avance, A- retroceso) y B (B+ avance, B- retroceso), junto con sus correspondientes sensores finales de carrera (leds a0, a1, bo, b1 respectivamente). El operario puede accionar cualquiera de ellos de forma autónoma, y recibir información de la posición de los cilindros mediante la información del activado de los LEDS.

El problema subyacente en la situación de verificación recogida en la guía GEMMA es que, si la cantidad de dispositivos a accionar por el operario es elevada, entonces el subpanel puede ser complicado de diseñar. Es recomendable analizar, de todo el proceso/máquina, qué actuadores en concreto nos interesan para proceder al modo de verificación.

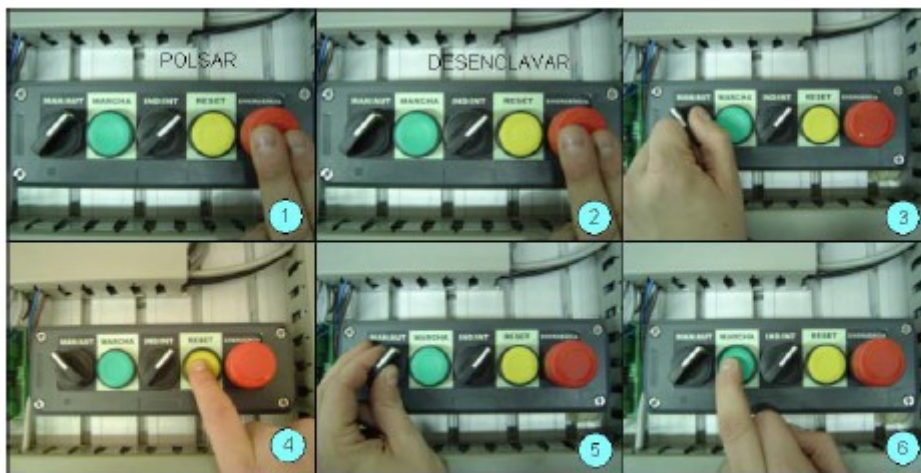


Subpanel de verificación (subpanel adicional)



Integración de subpaneles para la obtención de panel de mando integrado.

Una vez seleccionados algunos actuadores y sensores, se puede generar el subpanel y ubicar los indicadores y controladores. Nótese que, en la propuesta conjunta del panel ergonómico junto con el subpanel opcional, los controladores presentan una sola y clara función y no existe el solapamiento presente en el panel académico. Se ha optado por representar el panel en forma vertical respetando la funcionalidad de cada uno de los paneles.



Intervención del operario en la situación de parada de emergencia y posterior solución del problema

Otra situación relevante es el procedimiento a seguir en caso de fallo y/o defecto, en el que en muchas ocasiones, se recurre a *la parada de emergencia*. Mediante el panel académico, esta situación se ilustra con la secuencia de fotografías de la figura.

El operario aprecia un riesgo elevado de daño sobre otros operarios o sobre máquinas y decide intervenir al apretar el paro de emergencia. A continuación, procede a desenclavar el paro, al tratarse de un componente electromecánico que hay que restituir a la situación original de forma manual con un giro a la izquierda del dispositivo. A continuación, el operario pasa el selector de modo automático a manual. En esta fase, el operario realiza tareas de solución de problemas, como atender al operario herido, reponer los dispositivos rotos ante un accidente, o cambiar los dispositivos en fallo. Una vez finalizado el problema, el operario debe llevar a cabo una serie de actividades para la reanudación del ciclo, empezando por utilizar el pulsador de RESET como rearme del sistema. Vuelve a poner el sistema en modo automático y reinicia la marcha al apretar el pulsador de marcha.

Las limitaciones del panel académico son evidentes, ya que al existir únicamente dispositivos controladores se carece de información básica que permita ofrecer al operario información clara; el operario debe combinar sus acciones sobre el panel con la visualización directa de los cambios en la máquina/proceso. En este sentido, el panel de mando de la figura del panel ergo es más detallado. Si se activa el LED indicador de alarma, el propio operario puede juzgar si la situación es tan grave como para detener todo el sistema mediante el paro de emergencia, o dejar seguir el ciclo pese a la anomalía. Anteponer un LED de precaución permite al operario estar alerta y dejarle un margen para que elabore su decisión siguiente sin una presión temporal excesiva. En este sentido, este nivel vertical de seguridad del panel podría enriquecerse con un LED que funcionase de modo intermitente o añadiendo un dispositivo de información acústico. El LED indicador de fallo aporta información sobre el mal funcionamiento de sensores y actuadores claves en el desarrollo del ciclo o su interrupción.

Creación de prototipos

Una vez se han aplicado criterios de ergonomía, seguridad en máquinas en el diseño del panel de mando, es importante crear prototipos reales para evaluar la usabilidad. Es decir, el fabricante nos ofrece un panel académico, como diseñadores hemos aportado un nuevo panel de mando ergonómico, deberíamos hacer test de uso y satisfacción del usuario para valorar la calidad de las prestaciones de cada panel, y concluir, o no, que el panel de mando diseñado ergonómicamente mejora el panel académico, y el operario lo utiliza satisfactoriamente.

Crear un prototipo requiere adquirir cada uno de los dispositivos DIV y controladores, y adecuarlos en una caja. En estos momentos, se dispone de una versión beta de panel de mando, tal como se ilustra en la fotografía, y que está perfectamente operativo ya que se integra con el automatismo (PLC).



Mediante el registro de la actividad del usuario, podemos analizar el uso que hace el usuario del panel diseñado y recoger mediante encuesta de satisfacción la valoración del uso del panel que hace el usuario. Ello conlleva iterar diversas veces hasta conseguir un prototipo de cierta calidad que permita al usuario llevar a cabo las tareas con eficiencia.

ANEXO SISTEMAS DE MANDO

Sistema de mando.

Para el manejo de los equipos o cuadros de contactores es necesario emplear una serie de aparatos, que los podemos dividir en sistemas de **mando permanente, mando instantáneo, mando particulares y dispositivos de control.**

a. Sistemas de mando permanente.

La principal característica de los sistemas de mando permanente radica en que al accionar el dispositivo de puesta en marcha permanecen en esa posición hasta que se actúa nuevamente sobre ellos. Además permiten simplificar bastante tanto los esquemas de mando como los circuitos. Al permanecer cerrados, mantienen en tensión todos los elementos que alimentan hasta que se actúa de nuevo sobre el mando para realizar la parada. Como ejemplo, interruptores, conmutadores, selectores, pulsadores de llave

b. Sistemas de mando instantáneo.

Los sistemas de mando instantáneo tienen la particularidad de recuperar la posición de reposo en el momento en que cesa la fuerza que se ejerce sobre ellos. Se puede nombrar los pulsadores y finales de carrera.

Para la puesta en marcha se utiliza un pulsador normalmente abierto (NA), para la parada otro normalmente cerrado (NO o NC). Al realizar la puesta en marcha por medio de un pulsador si cesa la causa que lo acciona, el contactor, se pararía al faltar le la alimentación. Para evitarlo se utilizan contactos auxiliares de los propios contactores que realizan lo que se denomina realimentación o enclavamiento.

Además de los anteriores, podemos encontrar una amplia gama, pero destacamos los pulsadores dobles, que pueden pulsar de forma simultanea dos circuito a la vez, de conexión y desconexión.



Final de carrera y caja de pulsadores

c. Teclados.

Los teclados aparecieron junto con la lógica programada en la que intervienen parámetros numéricos. Para el diálogo con la máquina hay que utilizar un mayor número de pulsadores, asociados entre sí eléctricamente, capaces de hacer llegar las órdenes. Estos pulsadores son teclas que componen el teclado.

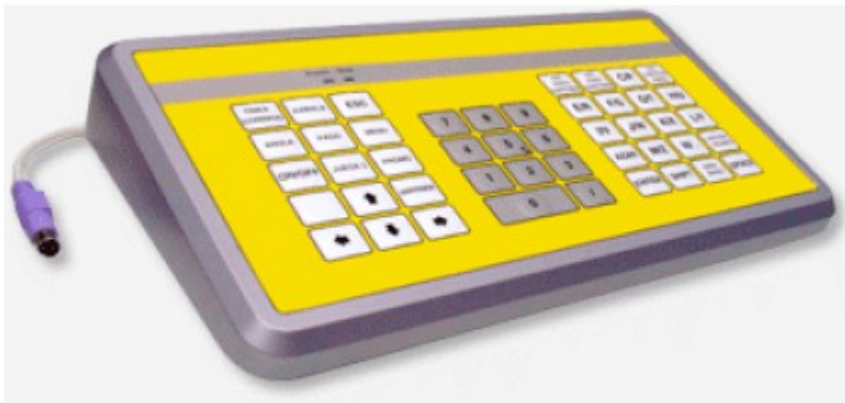


Fig.2. Teclado industrial

d. Cajas de pulsadores colgantes.

Las cajas de pulsadores colgantes son cajas móviles y están destinadas al mando de contactores. Su uso más frecuente está en el control de máquinas de elevación, como puentes grúa, grúas de pluma, máquinas-herramientas... hoy se utilizan cajas que no necesitan usar ningún tipo de conexión física para transmitir las órdenes en las cuales la comunicación entre los pulsadores y el cuadro de maniobra se realiza por medio de ondas semejantes a las de la radio. Al accionar un pulsador se genera una señal de radiofrecuencia que produce una sola respuesta en el elemento receptor, que se traduce en el movimiento correspondiente de la máquina. En la caja de pulsadores se encuentra el emisor de la señal de radiofrecuencia, y en el cuadro de maniobra, el receptor de esta y el convertidor de señal que la traduce en el movimiento

deseado.



Leyenda: 1) Anillo colgador de acero inoxidable resistente a la corrosión para protector contra fatiga mecánica externo 2) Accionador de paro de emergencia del tipo de girar hasta soltar en todas las unidades colgantes, excepto en las de 2 botones 3) El exclusivo indicador verde cambia cuando se acciona el paro de emergencia (P05 – P12 solamente) 4) Diseño ergonómico de "empuñadura de pistola" para operación con una sola mano. Disponible en las estaciones colgantes P02 y P03 5) Forro para cable de caucho flexible; puede cortarse al diámetro de cable apropiado 6) Envoltorio robusto con doble aislamiento, resistente a los impactos, a los productos químicos y a las llamas 7) Flechas direccionales universales grabadas con láser en las cubiertas de los botones para mayor durabilidad 8) Las cubiertas de caucho proporcionan a los botones un sellado hermético al agua (IP65). Los botones se montan a ras con el envoltorio para reducir la posibilidad de accionamiento accidental 9) Tornillos de acero inoxidable resistentes a la corrosión con juntas tóricas de sellado prisioneras en el envoltorio para que no se pierdan 10) Contactos N.C. de apertura positiva en el paro de emergencia 11) Guías/seguros de cables para mantener los cables dentro del envoltorio durante la instalación (P05 – P12 solamente) 12) Empaquetadura resistente a productos químicos proporciona un sello hermético al agua (IP65) 13) Abrazadera de cable interna/protección contra fatiga mecánica 14) Bloques de contactos con protección contra el contacto accidental y codificación de colores según el tipo de circuito 15) Contactos de una y dos velocidades disponibles 16) Contacto N.C. adicional con cada botón direccional para usar como medio de enclavamiento eléctrico

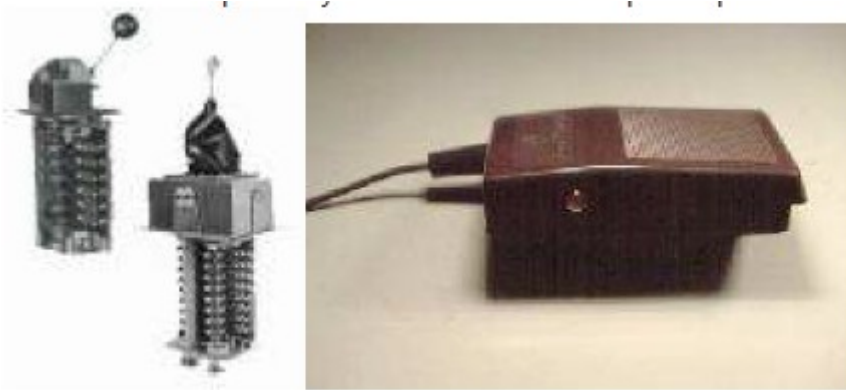
La señal de radio de alta frecuencia va ajustada tanto en el emisor como en el receptor. La máquina lleva un dispositivo de seguridad que la bloquea si se recibiese una señal procedente de una interferencia que pudiera provocar una falsa maniobra.

e. Mandos particulares.

Se integran en el tipo de mandos particulares todos aquellos dispositivos que engloban varios movimientos, ya sea de forma independiente o simultánea, de una misma máquina. Entre ellos se puede citar:

- **Combinadores**, se accionan con la ayuda de una palanca vertical y se utilizan para disponer de mando semiautomático y, en varios tiempos, en los aparatos de elevación, pórticos etc..

- **Pedales**, están destinados al mando sobre todo de máquinas-herramientas. Se emplean generalmente cuando el operador tiene las manos ocupadas y suelen llevar una tapa de protección.



f. Paradas de emergencia.

Una parada de emergencia es una medida que se adopta como respuesta a situaciones en las que puede haber peligro para personas o instalaciones. Esta detención puede afectar a una máquina, a una zona, o llegar incluso a producir la parada total de una fábrica o industria. La parada de emergencia puede provocarse actuando sobre el circuito principal, el de mando, en reguladores por circuitos electrónicos o en autómatas programables.

- En el primer caso se recurre al empleo de **interruptores generales con dispositivo de parada de emergencia**, que suelen responder a unas normas establecidas y deben desconectar la alimentación eléctrica de la instalación al ser accionadas.
- En la actuación sobre el **circuito de mando** pueden darse dos circunstancias; la parada de circuitos pequeños o la interrupción de varios que afectan a diferentes equipos.
- En el primer caso se trata de circuitos con dispositivos electromagnéticos y el mecanismo de parada se instala independiente del mando normal.
- En el segundo caso se trata de desconectar instalaciones con varios equipos magnéticos, no obstante, deben permitir la puesta en marcha de un equipo a pequeños impulsos para poder comprobar y subsanar el defecto.
- En el tercer caso, actuando en **dispositivo con reguladores por medio de circuitos electrónicos** que no posean su propio sistema de protección.
- En el caso de los **autómatas programables**, que carecen de sistemas electrónicos de seguridad. Al activarse el sistema de parada, deben desactivarse todas las salidas del autómata y quedar sin tensión de mando en la entrada.



g. Interruptores de posición electromecánicos.

Los **interruptores de posición electromecánicos**, son vulgarmente conocidos como finales de carrera, y se dividen en:

- Interruptores de control**, cuyo papel consisten en detectar la presencia o el paso. Se conectan a las entradas de la unidad de tratamiento de datos.
- Interruptores de potencia**, insertados en las fases de alimentación de los aparatos de accionamiento. Generalmente, su función se limita a la seguridad.

Deben tener las siguientes cualidades: seguridad de funcionamiento, alta precisión en el punto de accionamiento, ser inalterable a las perturbaciones electromagnéticas, facilidad de manejo, fácil instalación y un funcionamiento preciso.

La **cabeza**, o elemento de ataque, se asocia a diferentes cuerpos que son los que llevan incorporados los contactos. Podemos encontrar cabezas para aparatos de movimiento rectilíneo o cabezas para dispositivos de movimiento angular. Son elementos que actúan sobre el estado de una máquina y se utilizan como mando de contactores y señalización, para controlar la puesta en marcha, para disminuir velocidad, establecer "paradas" en las máquinas de elevación se establece un límite hasta el que puede llegar un móvil, a partir del cual se desconecta el dispositivo que lo mueve.

La elección debe hacerse teniendo en cuenta los factores que puedan afectarle, como golpes, presencia de líquidos o gases, características ambientales de la zona de ubicación, espacio físico para alojar el dispositivo, forma de fijación, peso, condiciones de utilización, número y naturaleza de los contactor, forma de la corriente...

Señalización.

La señalización de los equipos consiste en testigos, generalmente luminosos, que se ponen en las instalaciones para poder disponer de información del estado del funcionamiento de la misma.

La norma UNE EN 60204-1 establece el código de colores para los visualizadores y los pilotos.

- Rojoemergencia.
- Amarillo....alerta funcionamiento anormal.

Cuando puede ser necesario vigilar los parámetros con mayor precisión que la que nos aportan los pilotos se utilizan visualizadores numéricos y alfanuméricos.

Interruptores de control.

Los interruptores de control son dispositivos encargados de vigilar una serie de magnitudes físicas que intervienen en el proceso productivo y cuya variación han de estar debidamente reguladas para el adecuado funcionamiento de la instalación.

a. Control de nivel.

Los interruptores de control de nivel son aparatos de control de fluidos. Supervisan el nivel en un depósito y ponen en marcha o paran, sucesiva y automáticamente, un cierto número de grupos electrobombas en función del caudal solicitado.

Un interruptor de control de flotador consta del propio interruptor que contiene los contactos para la puesta en marcha del equipo, activados por una palanca de balanza, un flotador, un contrapeso y una varilla.

Posterior, se han fabricado relés capaces de mantener el control al mismo tiempo sobre dos niveles. Estos controles se realizan mediante el empleo de sondas que van sumergidas y, por tanto, en contacto con el líquido que hay que controlar.

Como elementos de última generación, observamos unos dispositivos que mantienen el uso de señales de radiofrecuencia pueden controlar niveles de líquidos a gran distancia.

Debido a su bajo consumo, no es imprescindible dotarlos de una línea eléctrica para su funcionamiento, puesto que pueden abastecerse de energía solar o pilas. La elección del modelo depende de las características, de la naturaleza y temperatura del líquido, y el ambiente en el que funciona el aparato.

b. Control de presión. Presostatos y vacuostatos.

El presostato, controla la subida de la presión y cuando esta llega al límite establecido provoca la apertura de un contacto.

El vacuostato, controla la bajada de presión, o depresión, procedimiento a cerrar el contacto.

Cuando cesa la causa que ha originado dichos movimientos, ambos recuperan la posición inicial. Sus utilizaciones más frecuentes se dan en los calderines de los compresores, donde regulan la puesta en marcha y parada en función de la presión establecida. También se usan para garantizar refrigeraciones o lubricaciones mediante la circulación de un fluido, para controlar presiones en algunas máquinas-herramientas provistas de cilindros hidráulicos o para detener el funcionamiento de una máquina en caso de baja presión.

Como en todos los aparatos, a la hora de elegir se debe saber:

- El tipo de funcionamiento al que van dirigidos.
- Si deben controlar un solo sentido o dos.
- Si deben regularse los niveles máximo y mínimo.
- El tipo de fluido al que se destinan: aceite hidráulico, agua de mar, aire.
- Los valores en los que se moverá la presión que se quiere controlar.
- Las circunstancias de ambiente en las que van a ubicarse.

c. Control de temperatura. Termostatos.

Los termostatos son dispositivos empleados para controlar las temperaturas. Van provistos de un contacto que cambia su posición cuando el valor de la temperatura alcanza el previamente establecido.

Su funcionamiento puede provocar dos tipos de respuesta: como medio de corte de elementos calefactores, o de puesta en marcha de componentes refrigerantes. Así, los termostatos se utilizan para controlar la temperatura en:

- **Climatización.** Bien sea como elemento de una instalación de calefacción o de refrigeración. En el primer caso, conecta y desconecta la calefacción para mantener la temperatura a unos niveles establecidos. La refrigeración se utiliza en la conservación de alimentos, desde pequeños frigoríficos a las grandes cámaras.
- **Industria.** Como controlador de la temperatura de las máquinas para mantener una buena refrigeración. Para elegir los presostatos debe tenerse en cuenta el mismo tipo de circunstancias indicadas en los casos anteriores y sobre todo su rango, en función de la temperatura que se desea controlar.

d. Detectores inductivos y capacitivos.

Los detectores realizan funciones parecidas a las de los contactos de elementos por mando mecánico, aunque fueron concebidos de una forma totalmente diferente. Son estáticos y no contienen pieza de mando ni ningún elemento móvil.

Entre las ventajas, destacan que no les afectan los ambientes enrarecidos por humedad, polvo o ambientes corrosivos. Poseen una vida que no depende del número y la frecuencia con que ejecuta las maniobras. Realizan la señal de respuesta en un breve espacio de tiempo y permiten la conmutación de pequeñas corrientes sin posibilidad de errores o fallos. Los tipos de detectores existentes en el mercado son:

- **Inductivos**, son aquellos que detectan cualquier objeto de material conductor. Realizan su función mediante la variación que sufre un circuito electromagnético cuando al mismo se aproxima un objeto metálico.
- **Capacitivos**, son los apropiados para otros tipos de objetos, aunque sean aislantes líquidos o estén cubiertos de polvo. Su funcionamiento tiene como principio la alteración que sufre un campo eléctrico al aproximarle un objeto. Estos detectores disponen de un potenciómetro de regulación de sensibilidad.

e. Detectores fotoeléctricos.

Los detectores fotoeléctricos constan de un emisor y un receptor de luz. La detección es efectiva cuando el objeto penetra en el haz luminoso y modifica la cantidad de luz que llega al receptor para provocar el cambio de estado en la salida. Permiten detectar todo tipo de objetos, sean opacos, transparentes".

Van asociados a un relé electrónico, y cuando el haz luminoso es interrumpido se modifica la posición del contacto NA/NC. Por su peculiaridad de funcionamiento, son aparatos que trabajan en tensión.

Existen cinco tipos de sistemas de montaje, en función de las circunstancias:

- **Sistema de barrera.** Se monta cuando se trata de alcanzar longitudes largas y los objetos que se quieren detectar son reflectantes. El haz que emite puede ser de infrarrojo, laser o posee una excelente precisión, aunque para ello es necesario alinear muy bien el emisor y el receptor. Los detectores de barrera son muy adecuados para los entornos contaminados.

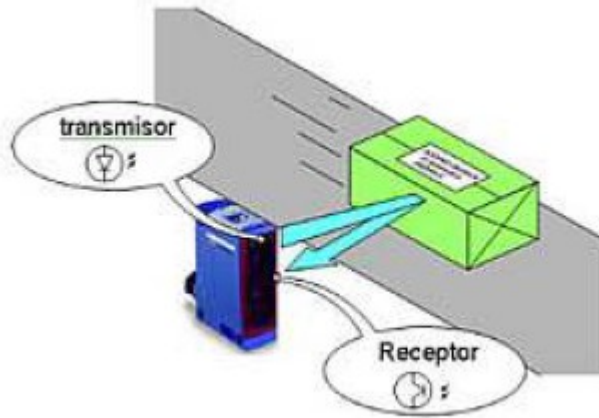


□ **Sistema réflex.** En este caso, emisor y receptor están en el mismo aparato. El haz luminoso que lanza el emisor va dirigido a una pantalla situada frente a él a una distancia conveniente, provocando el retorno del haz por medio de un elemento reflector que está montado sobre dicha pantalla. La detección se produce cuando el objeto interrumpe el haz de luz. Este sistema no permite la detección de objetos reflectantes que podrían reenviar una cantidad importante de luz al receptor. Estos modelos están indicados para las instalaciones de alcance medio o corto, especialmente cuando no hay posibilidad de instalar el receptor y el emisor separados.

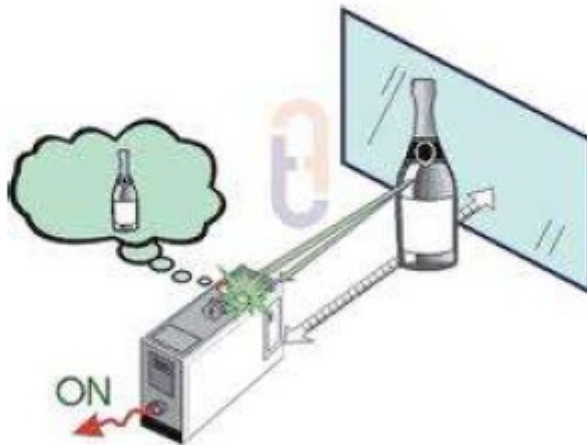
El alcance de un detector fotoeléctrico réflex es de dos a tres veces inferior al de un sistema de barrera. Puede utilizarse en un entorno contaminado, aunque como el margen de efectividad es inferior al de un sistema de barrera, es indispensable estudiarlo bien antes de decidirse por este sistema.



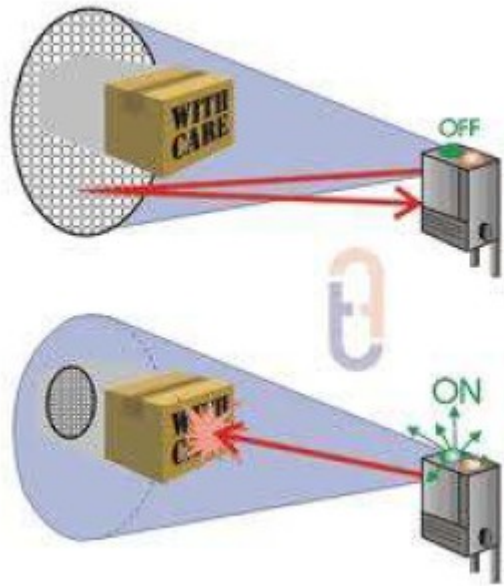
□ **Sistema de proximidad.** Solo está indicado cuando se trata de realizar instalaciones para alcances cortos. Emisor y receptor van incorporados en la misma caja. El haz emitido, que en este caso es infrarrojo, llega al receptor valiéndose del reflejo que provoca sobre los objetos que hay que controlar, aunque situados a una distancia relativamente corta. Incluyen un ajuste de sensibilidad para impedir que cualquier objeto del entorno pueda alterar el normal funcionamiento, lo que podría ocurrir si existiera algún elemento reflectante tras el objeto que hay que detectar.



□ **Sistema réflex polarizado.** Cuando los objetos que hay que detectar son brillantes, de manera que en lugar de cortar el haz reflejan la luz, es preciso utilizar este sistema. El funcionamiento de un detector réflex polarizado puede verse perturbado por la presencia de ciertos materiales plásticos en el haz que despolarizan la luz que los atraviesa. Es recomendable evitar la exposición directa de los elementos ópticos a fuentes de luz ambiental.



□ **Sistema de proximidad con borrado del plano posterior.** Están equipados con un potenciómetro de regulación de alcance que permite ajustar la zona de detección y evitar la detección de los objetos existentes en un plano posterior. Pueden detectar a la misma distancia objetos de diferentes colores y con reflexiones distintas. El funcionamiento de este sistema en un entorno contaminado es superior al de un sistema estándar, debido a que el alcance no varía en función de la cantidad de luz devuelta por el objeto.

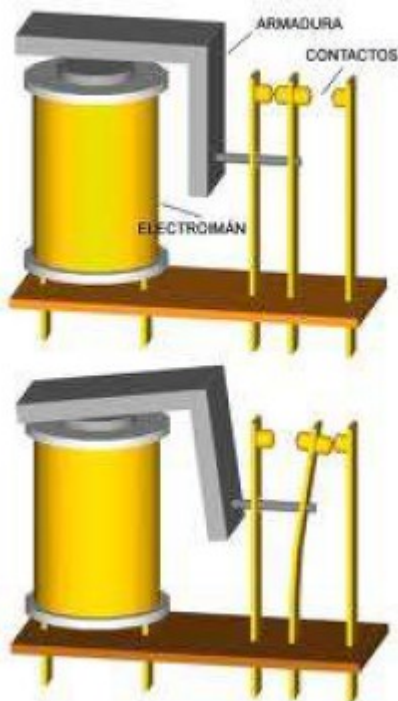


Relés.

En el concepto de relés se incluyen aparatos que cumplen funciones muy diferentes, tales como realizar una labor de protección, combinar o establecer secuencias dentro del funcionamiento de los equipos. Existe gran diversidad de tipos desde el punto de vista de su forma constructiva.

Construcción de un relé industrial: el electroimán.

Su principio de funcionamiento es idéntico al de los contactores, aunque es más pequeño. La construcción del circuito magnético, igual que en aquellos, también va en función de la naturaleza de la corriente de alimentación, es decir, si es alterna o continua.



El funcionamiento del contacto de un relé puede ser:

□ **Instantáneo:** cuando la bobina recibe tensión cambia inmediatamente de posición; en el momento en que la bobina deja de recibir tensión, la vuelta a la posición de reposo es instantánea.

□ **Temporizado:** al trabajo o al reposo.

Los contactos del relé son los encargados de cortar o conectar los circuitos con una gran fiabilidad, por eso, a la hora de fabricar sus piezas, la elección de los materiales empleados se hace teniendo en cuenta estas circunstancias.

a. Principio de funcionamiento de un relé temporizado.

Los contactos de los relés temporizados se abren o cierran una vez transcurrido un tiempo desde que se les aplica o corta la tensión en los extremo de su bobina. El tipo de temporizador a la conexión (o trabajo) o a la desconexión (o reposo) depende de la misión a realizar dentro del circuito.

Relé temporizado a la conexión o al trabajo.

Cuando los relés temporizados al trabajo reciben una tensión en su bobina, cambia la posición de sus contactos tras un tiempo determinado. Sin embargo, una vez que ha cesado dicha tensión, la vuelta a la posición de reposo se realiza de manera instantánea.

La regulación del tiempo suele hacerse mediante un dispositivo que gira sobre una graduación en forma circular incorporada en la parte superior del relé.

El relé va provisto de un contacto conmutable con tres bornes de conexión. Uno de los bornes es común a ambos contactos. De los otros dos, uno pertenece al contacto normalmente cerrado (NC) y otro al abierto (NA).

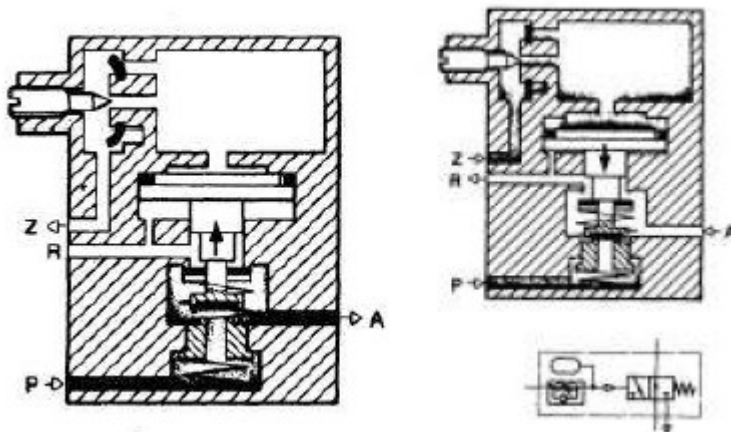


Relé temporizado a la desconexión o al reposo.

En un relé al reposo, cuando la bobina recibe tensión se produce inmediatamente el cambio de posición de sus contactos. Cuando la tensión cesa, debe transcurrir un tiempo previamente regulado antes de recuperar la posición de reposo. Igual que el temporizador a la conexión, cuenta con una escala graduada en la que se establece la regulación del tiempo con el mismo número y forma de los contactos.

Relé temporizado neumático.

Un relé temporizado neumático puede estar constituido por diferentes contactos, dependiendo del tiempo y del fabricante, contactos NANC o NA+NC, contactos instantos NA o NC. La regulación del tiempo puede ajustarse por medio de un tornillo en el frontal. En este sistema, la temporización se obtiene por corriente de aire que recorre un surco de longitud regulable. El aire se recicla y se filtra, permitiendo con ello que el funcionamiento no se vea afectado por poluciones ambientales.



El aire comprimido entra en la válvula por el empalme P. El aire de mando entra en la válvula por el empalme Z y pasa a través de un regulador unidireccional; según el ajuste del tornillo de éste, pasa una cantidad mayor o menor de aire por unidad de tiempo al depósito de aire incorporado. Una vez que existe la suficiente presión de mando en el depósito, se mueve el émbolo de mando de la válvula distribuidora 3/2 hacia abajo. Este émbolo cierra el escape de A hacia R. El disco de válvulas se levanta de su asiento, y el aire puede pasar de P hacia A. El tiempo en que se forma presión en el depósito corresponde al retardo de mando de la válvula.

Para que el temporizador recupere su posición inicial, hay que poner en escape el conducto de mando Z. El aire del depósito escapa a través del regulador unidireccional y del conducto de escape de la válvula de señalización a la atmósfera. Los muelles de la válvula vuelven el émbolo de mando y el disco de la válvula a su posición inicial. El conducto de trabajo A se pone en escape hacia R, y P se cierra.

Temporizado electrónico.

La instalación de los temporizadores electrónicos se ha impuesto dentro de los equipos de automatismos. Utilizando un circuito electrónico de pequeño consumo, se obtiene un contador programable. La programación se realiza por medio de un potenciómetro colocado en la parte frontal del aparato.

En los modelos más habituales, la corriente de salida del circuito electrónico alimenta, a su vez, un relé equipado de contactos NA/NC que funcionan igual que en los casos anteriores.



Relojes horarios.












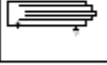
Los relés citados son adecuados cuando los tiempos no superan varios minutos. El problema se planteó ante la necesidad de disponer de tiempos de actuación superiores que los anteriores relés no cubrían. Se solucionó con la aparición de relojes horarios, es decir, relés temporizados mediante motor asíncrono que pueden determinar tiempos desde segundos a horas.






El motor pone en marcha un dispositivo de relojería por medio de un embrague. El tiempo se regula, y una vez transcurrido, el embrague acciona un contacto que cierra o abre el circuito. Hoy en día se ha impuesto el empleo de relojes horarios cuyo mecanismo es de tipo electrónico.







































APENDICES NEUMÁTICA/ELECTRONEUMÁTICA










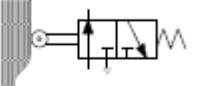








SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA














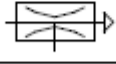


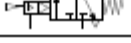
Conversión de energía			
Compresor		Bomba de vacío	
Motor neumático unidireccional de caudal constante		Motor neumático bidireccional de caudal constante	
Actuador de giro		Cilindro neumático de simple efecto con retroceso por fuerza exterior	
Cilindro neumático de simple efecto con retroceso por muelle		Cilindro de doble efecto	
Cilindro de doble efecto con amortiguación regulable en ambos sentidos		Cilindro de doble efecto con doble vástago	
Unidad lineal neumática sin vástago		Cilindro hidrotelescópico	

Elementos de medición			
Manómetro		Caudalímetro	
Termómetro		Caudalímetro contador	
Presostato			

Transmisión de energía			
Conducto		Conducto flexible	
Fuente de presión neumática		Fuente de presión hidráulica	
Unión de conductos		Cruce de conductos	
Conexión cerrada de escape de aire		Silenciador	
Acoplamiento rápido		Acoplamiento rápido conectado con mecanismo de cierre de apertura mecánica	
Acoplamiento rápido desconectado, con conducto abierto		Acoplamiento rápido desconectado, con conducto cerrado	
Salida de aire sin posibilidad de conexión		Salida de aire con posibilidad de conexión	
Conexión de presión cerrada		Válvula de cierre	
Filtro		Filtro con purga manual de condensados	
Filtro con purga automática de condensados		Lubricador	
Refrigerador sin conductos para el sentido de flujo del medio refrigerante		Refrigerador con conductos para el medio refrigerante	
Secador		Unidad de mantenimiento	
Acumulador de aire a presión			

Válvulas de vías			
Válvula 2/2 normalmente cerrada (NC)		Válvula 2/2 normalmente abierta (NA)	
Válvula 3/2 normalmente cerrada (NC)		Válvula 3/2 normalmente abierta (NA)	
Válvula 3/3 con centro cerrado		Válvula 4/2	
Válvula 4/3 con centro cerrado		Válvula 4/3 con centro a escape en las vías de trabajo	
Válvula 5/2		Válvula 5/3 con centro cerrado	
Válvula distribuidora proporcional con posiciones intermedias y 2 posiciones finales.			
Denominación de las conexiones			
ISO/DIS 11727	Para válvulas 2/2 y 3/2	Para válvulas 4/2 y 4/3	Para válvulas 5/2 y 5/3
1	P	P	P
2	A	B	B
3	R	R	S
4	-	A	A
5	-	-	R
10	Z	-	-
12	Z	Y	Y
14	-	Z	Z

Accionamientos				
Manual				
				
General	Pulsador	Pulsador a tracción	Palanca	Pedal
Mecánico				
				
Leva	Rodillo	Rodillo escamoteable	muelle	
		Válvula accionada en posición inicial		
Accionamiento por presión				
				
Pilotaje neumático	Centrado por muelle	Por aplicación de presión diferencial		
Accionamiento eléctrico				
				
Electroimán con un devanado		Electroimán con dos devanados		
				
Electroimán y servopilotaje		Electroimán, servopilotaje y accionamiento manual auxiliar		
				
Enclavamiento				

Válvulas de caudal				
Válvula reguladora de caudal con estrangulación constante		Válvula reguladora de caudal con estrangulación variable		
Regulador de caudal unidireccional		Divisor de caudal		
Válvulas de presión				
Válvula reguladora de presión con escape de aire		Válvula regulable, limitadora de presión		
Válvula de secuencia		Válvula de secuencia con pilotaje externo		
Válvulas de cierre				
				
Válvula antirretorno	Válvula antirretorno precargada	Selector de circuito	Válvula de simultaneidad	Válvula de escape rápido
Componentes para vacío				
				
Generador de vacío	Ventosa			
Detectores neumáticos				
Detector réflex				
Amplificador de señal de baja presión				

■ Símbolos

Denominación	Símbolo
Trípode	
Unidad de entrada de señales eléctricas	
Electroválvula de 3/2 vías, no manualmente operada	

Denominación	Símbolo
Electroválvula de 5/2 vías	
Electroválvula de impulsos de 5/2 vías	
Detector de proximidad electrónico	
Sensor de presión	
Detector óptico	
Detector eléctrico de fin de carrera de camara	
Válvula de estrangulación y antirretorno	

Denominación	Símbolo
Cilindro de simple efecto	
Cilindro de doble efecto	
Válvula de cierre con unidad de filtro y regulador	
Grupo distribuidor	
Elementos de conexión	

