

Sistemas lógicos y secuenciales

Prof. Cesar de Prada

Dpt. Ingeniería de Sistemas y Automática

Facultad de Ciencias

Universidad de Valladolid

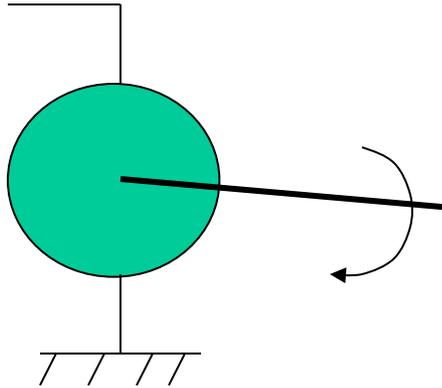
Indice

- Sistemas de eventos discretos
- Lógica combinacional
- Sistemas secuenciales
- Autómatas programables
 - Arquitectura y Funciones
 - Programación
- Control de procesos batch

Sistemas de eventos discretos

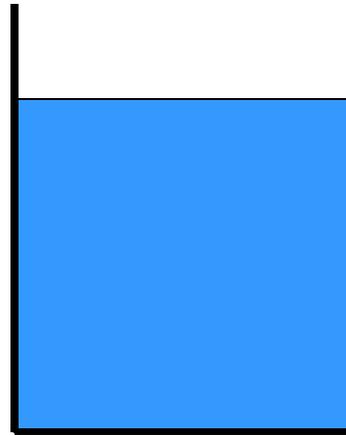
- Muchos procesos no son continuos
- Sus variables solo admiten un número finito de valores
- Los valores de las variables no cambian de forma continua en el tiempo, sino en instantes determinados.
- Problemas de control lógicos y secuenciales

Estados discretos



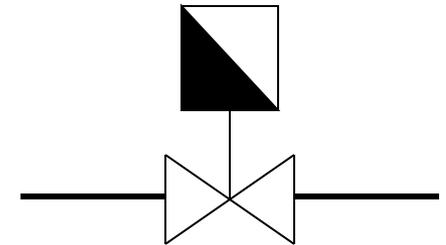
Motor:

En marcha o
parado



Depósito:

Con líquido o
vacio

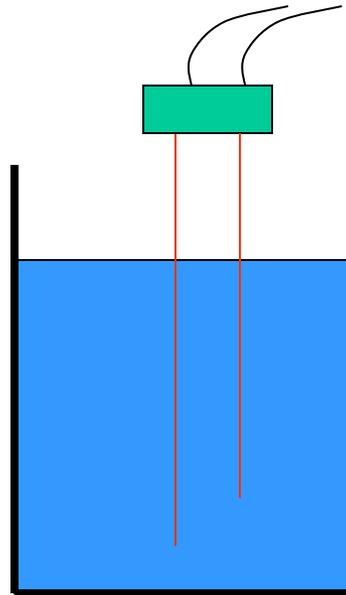


Válvula:

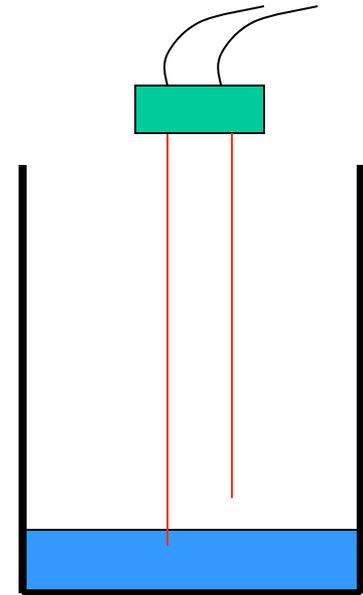
Abierta o
cerrada

Instrumentación

Detector de nivel mínimo: cuando el nivel desciende del valor mínimo se activa / o desactiva la señal del sensor



Circuito cerrado

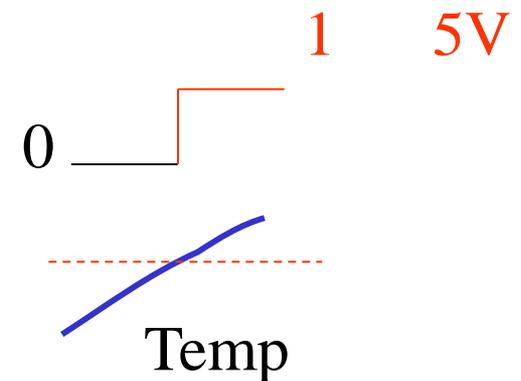
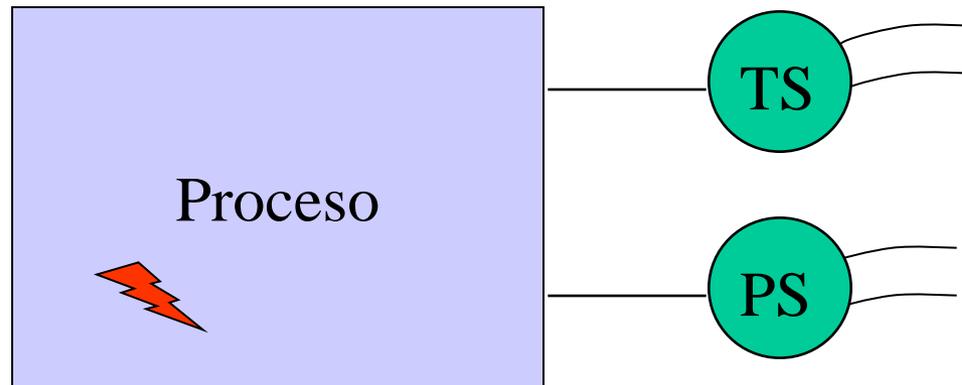


Circuito abierto

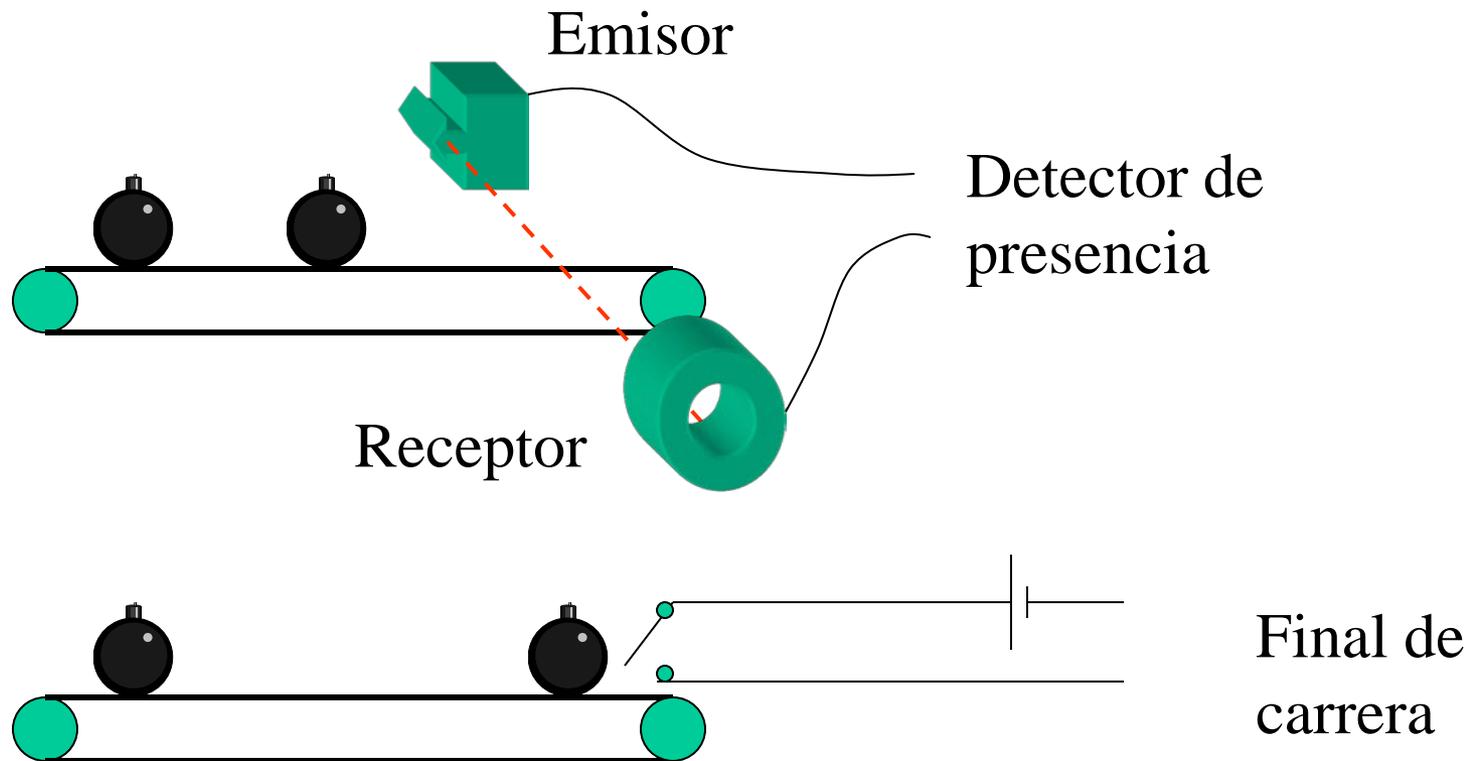
Instrumentación

Termostato:
Cuando la temperatura supera un límite se activa/desactiva el sensor

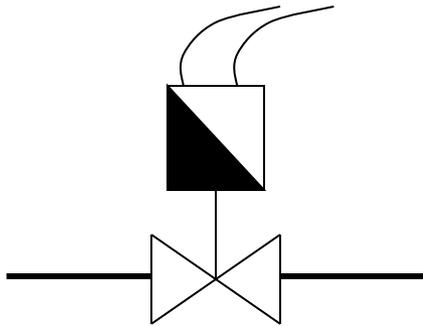
Presostato



Instrumentación



Instrumentación

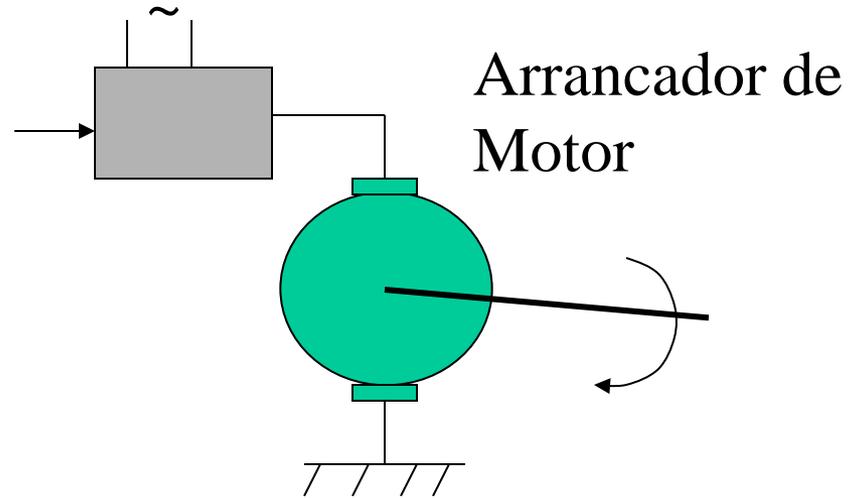


Válvula On/off

Electroválvula



Válvula de solenoide



Arrancador de Motor



Válvula neumática

Sistemas combinacionales

- Asociados a alarmas o lógicas de operación
- Las respuestas dependen solo de las entradas a través de las funciones lógicas Y, O, NO
- SI (condiciones lógicas)
ENTONCES (acciones)

Lógica combinacional

AND	1	0
1	1	0
0	0	0

OR	1	0
1	1	1
0	1	0

NOT	1	0
	0	1

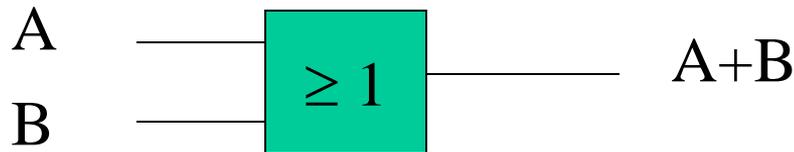
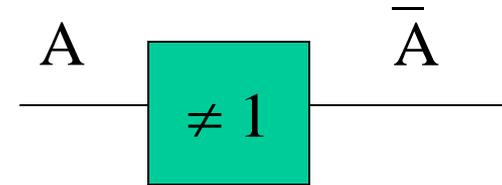
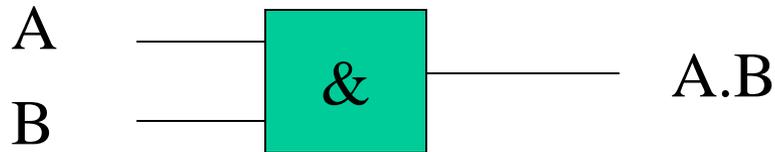
$A \cdot B$ AND

$A + B$ OR

\bar{A} NOT

Leyes de
Morgan $\overline{(A + B)} = \bar{A} \cdot \bar{B}$
 $\overline{A \cdot B} = \bar{A} + \bar{B}$

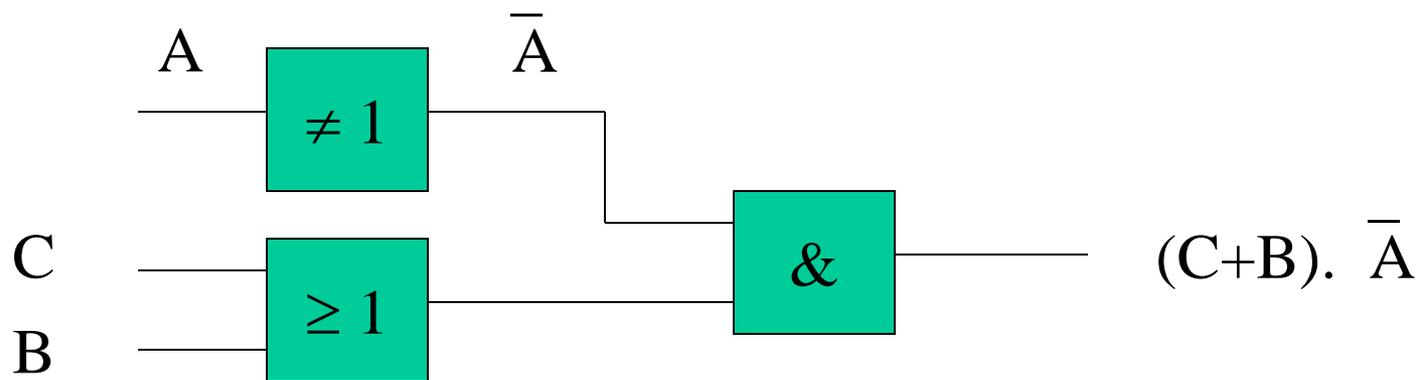
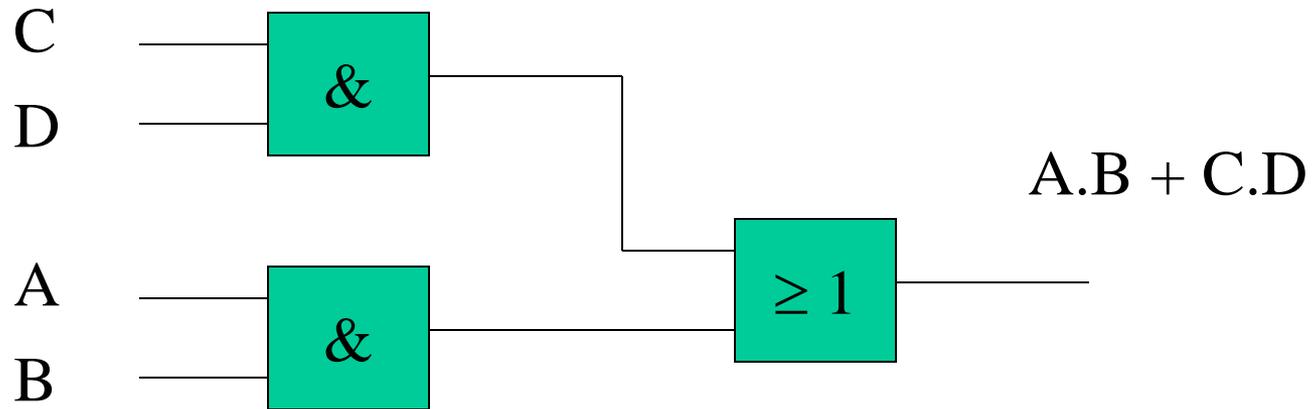
Puertas lógicas



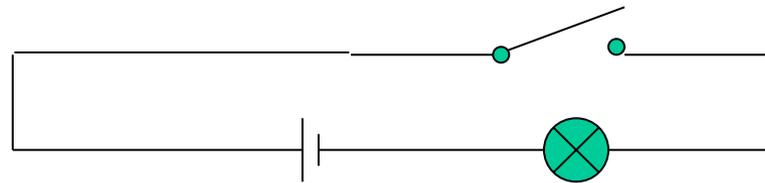
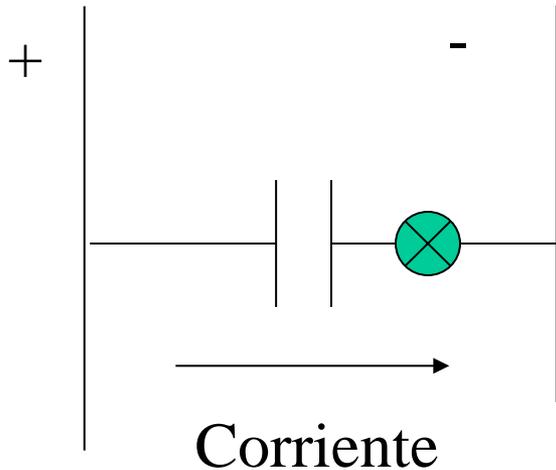
Nomenclatura
DIN

Las expresiones lógicas pueden asimilarse a circuitos eléctricos en que las condiciones cierto o falso corresponden a presencia o ausencia de señal y la conclusión se expresa en términos de la señal de salida

Circuitos lógicos



Diagramas de contactos



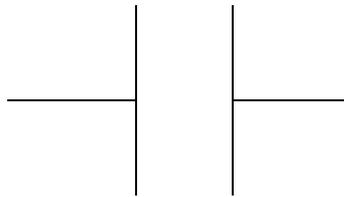
Si el interruptor está cerrado circula corriente y se activa la bombilla

Las expresiones lógicas pueden asimilarse a circuitos eléctricos en que las condiciones cierto o falso corresponden a contactos cerrados o abiertos y la conclusión se expresa en términos de circula corriente o no

Diagramas de contactos



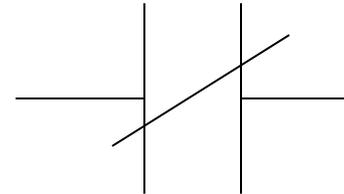
Contactador



Contacto normalmente abierto



Normalmente está abierto pero si se cumple una condición lógica se cierra y se activa la conclusión

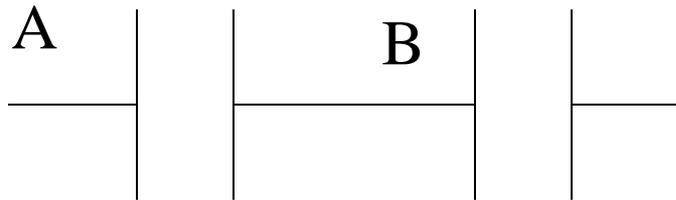


Contacto normalmente cerrado

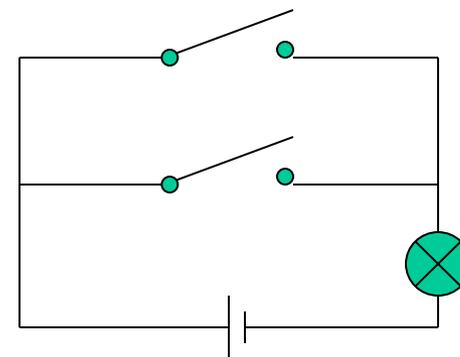
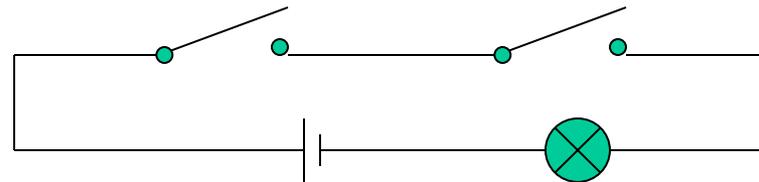
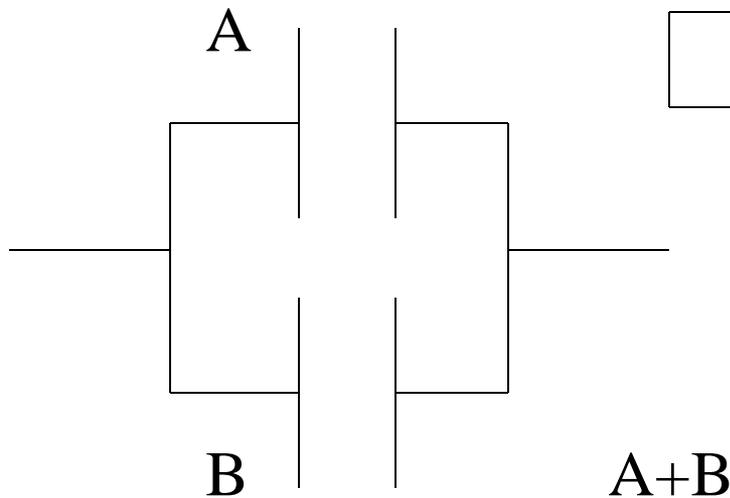


Normalmente está cerrado y se activa la conclusión, pero si se cumple una condición lógica se abre y se desactiva la conclusión

Lógica combinacional con contactos

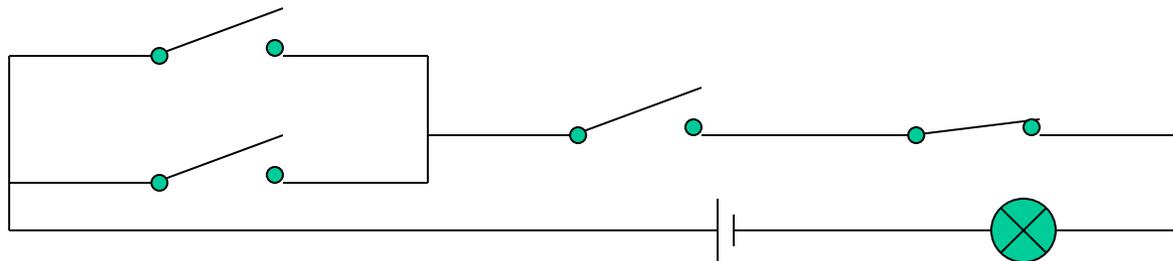
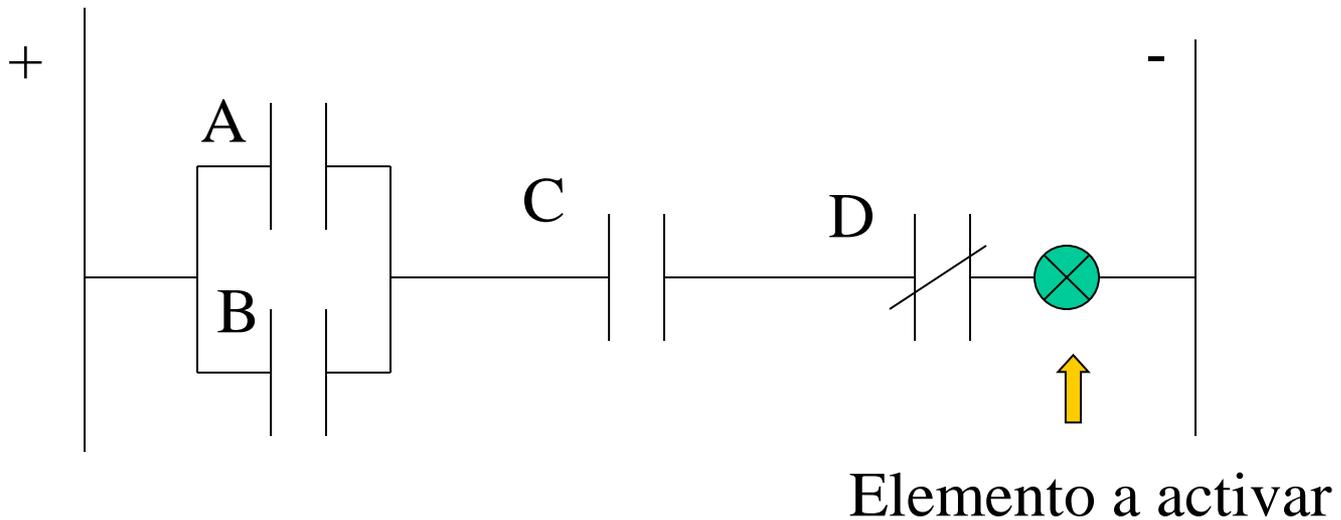


La lampara se enciende si A y B están cerrados



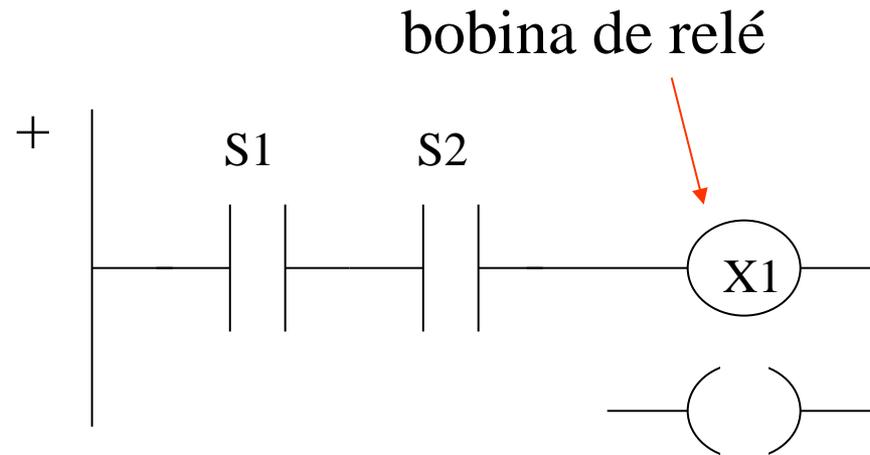
La lampara se enciende si A ó B están cerrados

Diagramas de contactos



Función lógica: $(A+B).C. \bar{D}$

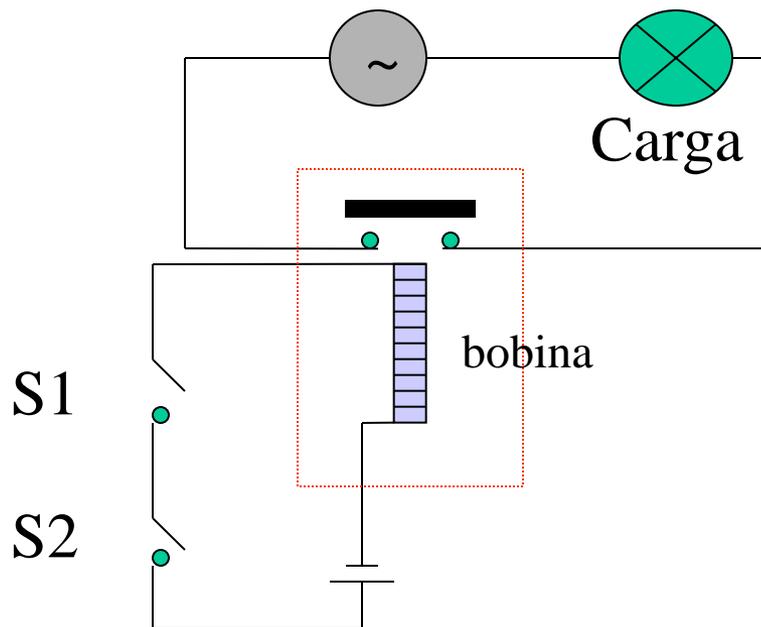
Diagramas de contactos



Normalmente, la corriente que circula por un circuito lógico es muy pequeña como para activar la mayoría de los dispositivos (Bombillas, motores, sirenas, etc.) Por eso se utilizan relés como elementos de activación.

Relés

Dispositivo que permite implementar acciones lógicas y actuar sobre elementos físicos



Mechanico



De estado sólido

SI (S1= cerrado y S2= cerrado)

ENTONCES carga activada

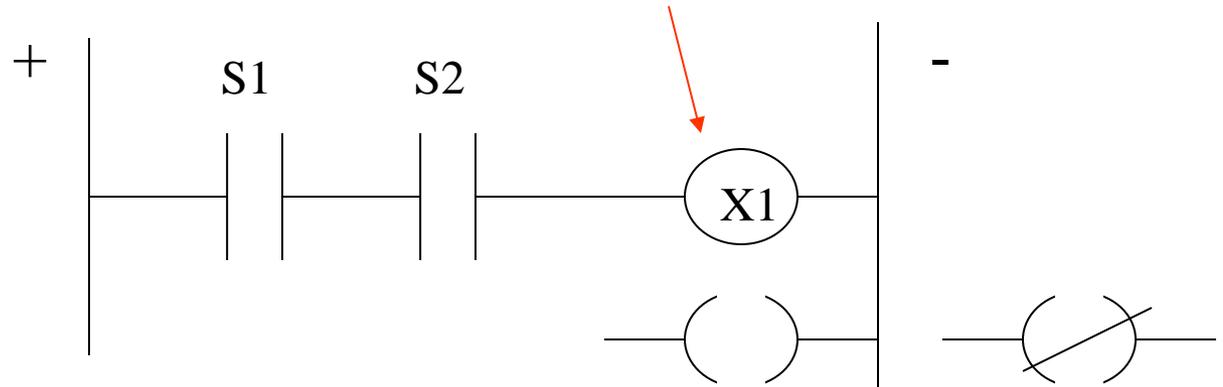
Diagrama de contactos

S1 ó S2 no tienen por que ser contactos, sino cualquier otro elemento:

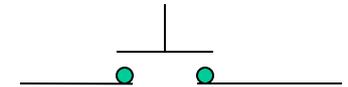
temporizadores, contadores, pulsadores, etc. que de una señal lógica 0 - 1



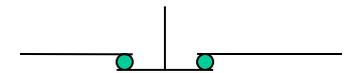
bobina de relé



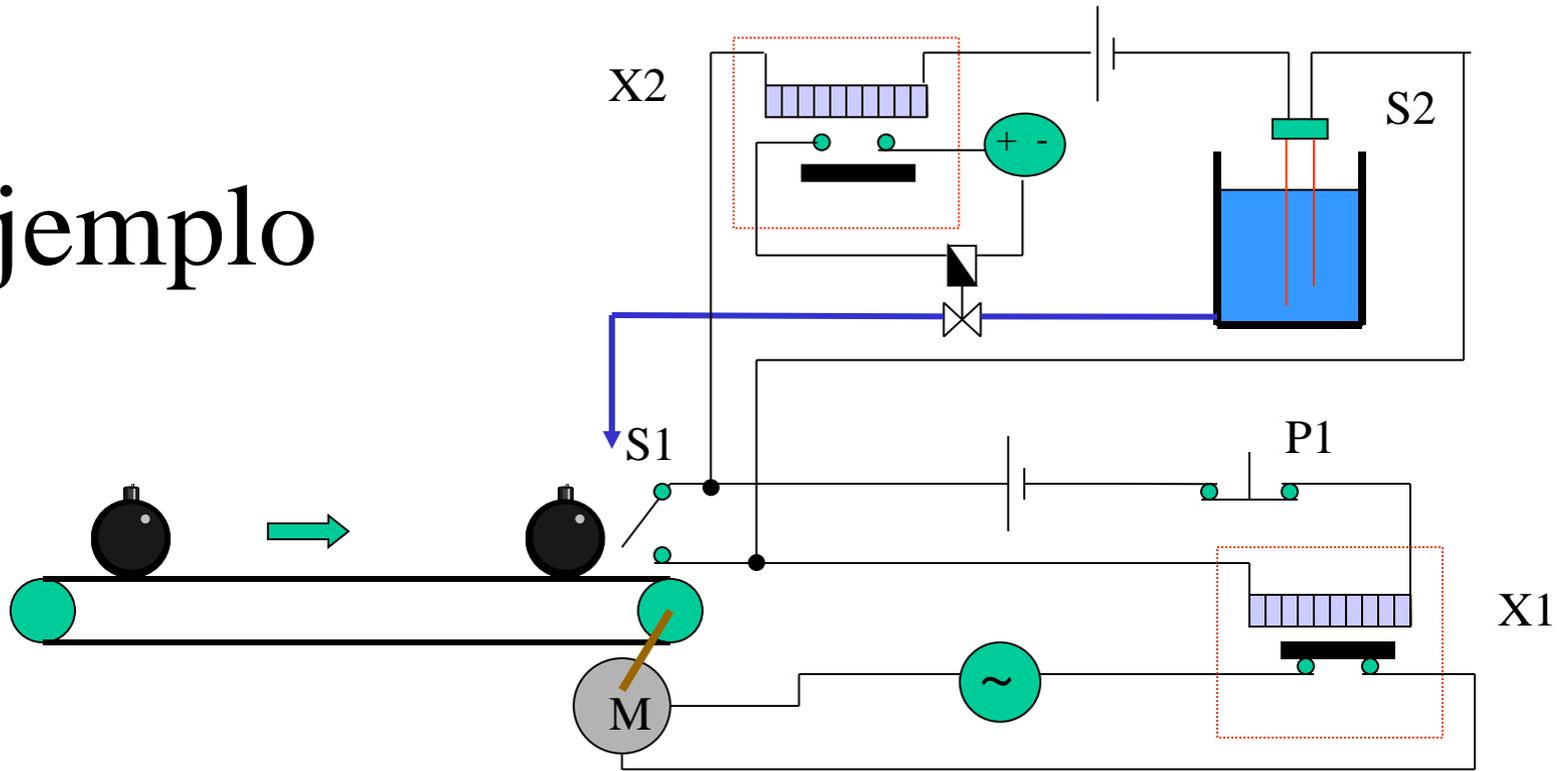
Pulsador normalmente abierto



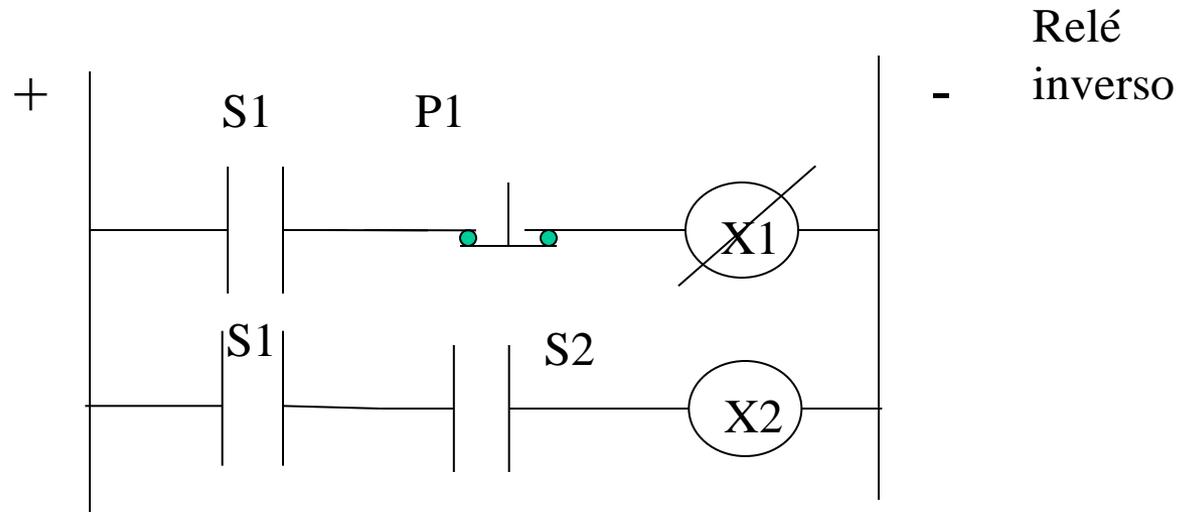
Pulsador normalmente cerrado



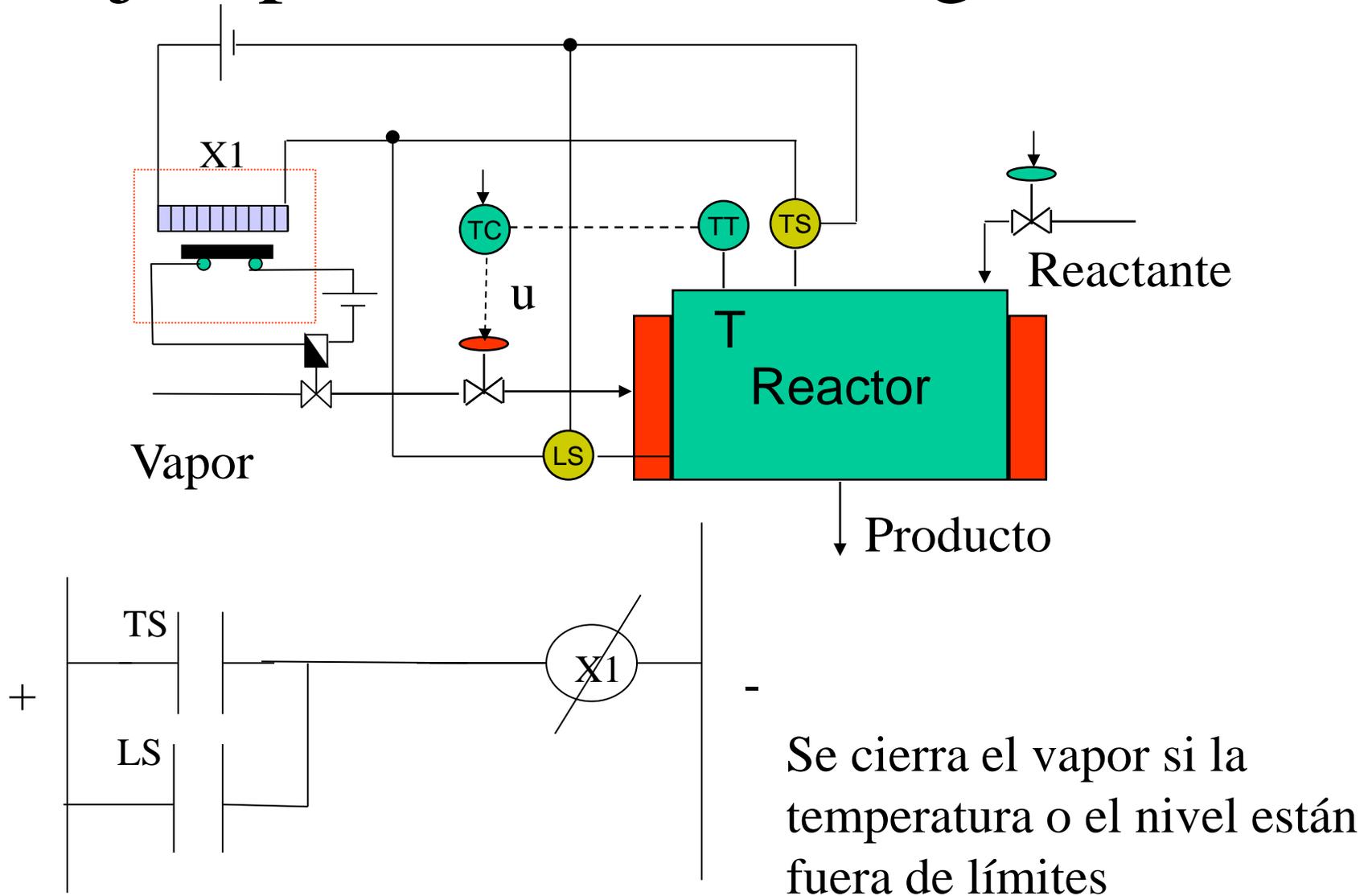
Ejemplo



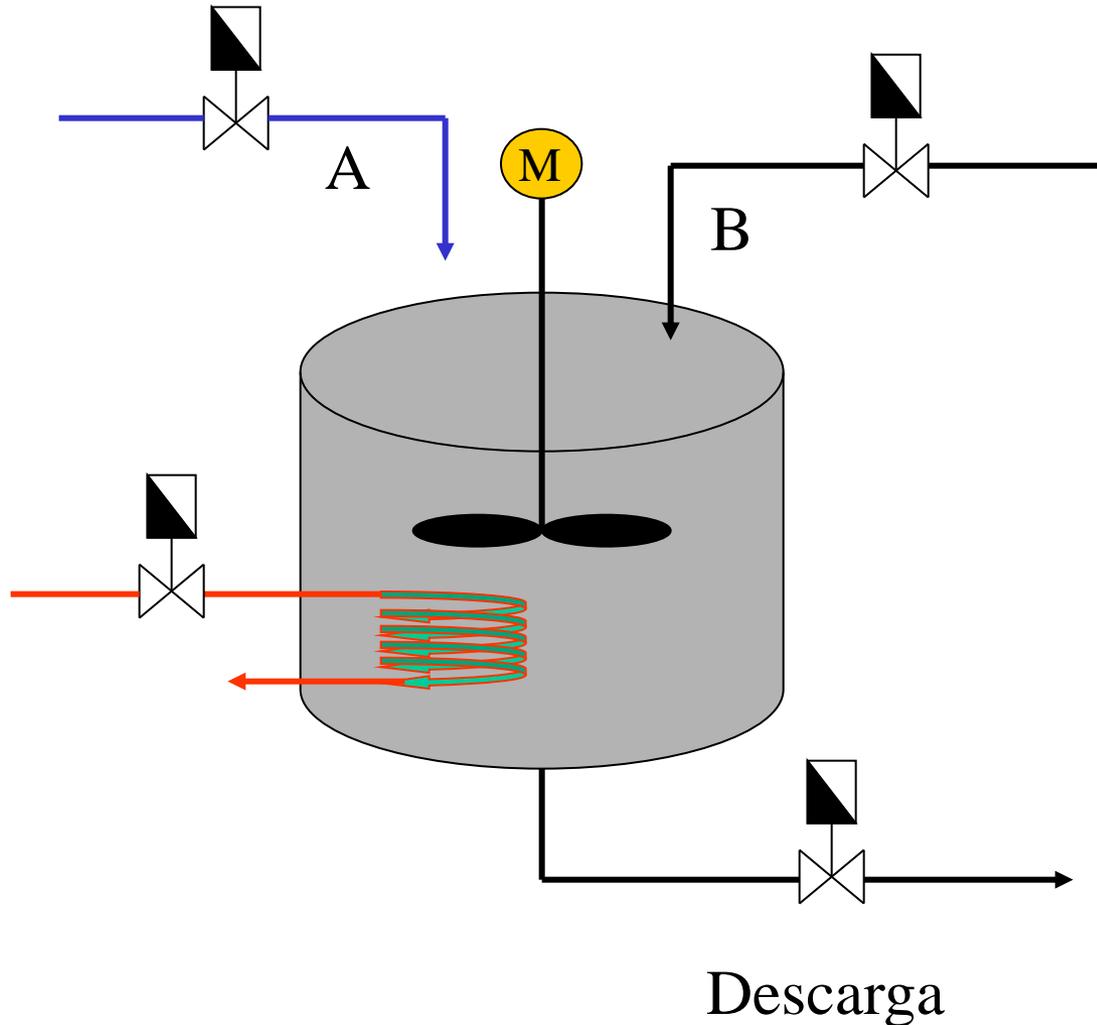
La botella debe detenerse al final de la cinta y recibir la dosis de producto



Ejemplo: sistema de seguridad



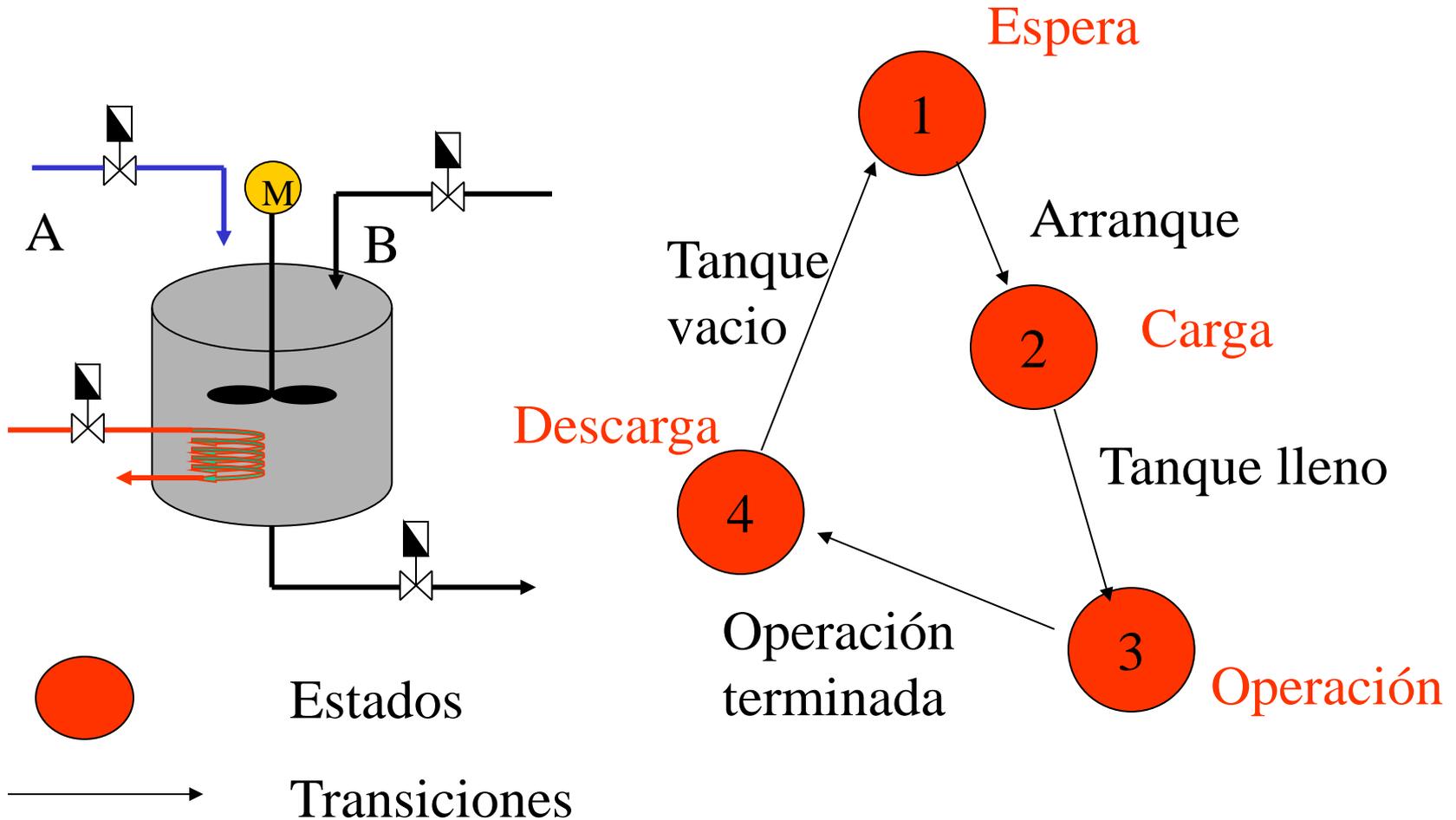
Procesos Secuenciales



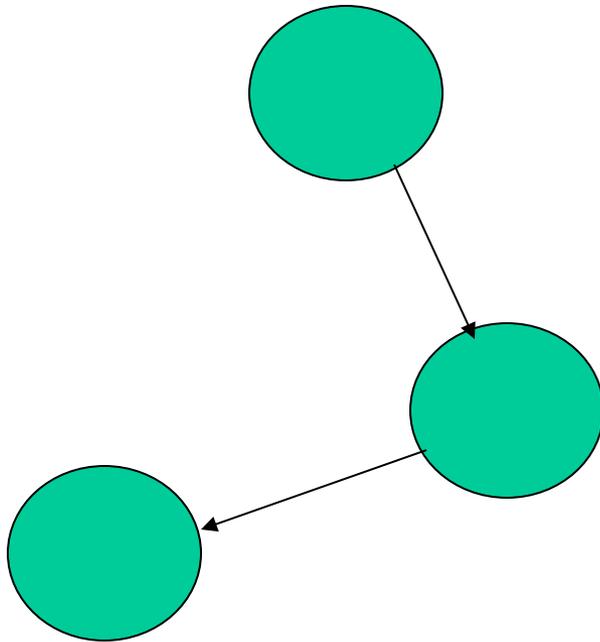
Sucesión de etapas de operación con acciones específicas y condiciones de transición entre ellas

- 1 Espera
- 2 Carga
- 3 Operación
- 4 Descarga

Grafos de transición de estados



Grafos de transición de estados



Las transiciones se formulan como funciones lógicas de las entradas. Una transición se activa cuando se está en el estado y la función lógica asociada tiene un valor cierto.

Cada estado lleva asociadas una serie de acciones específicas

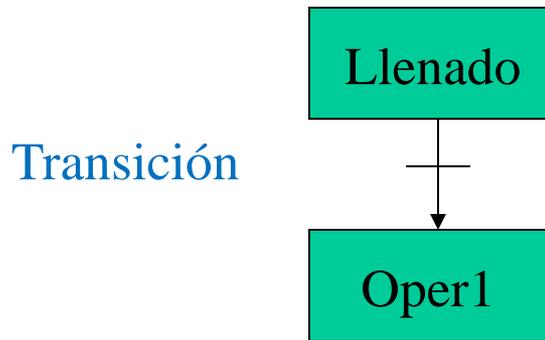
Procesos síncronos y asíncronos

- **Síncronos:** Los cambios de estado ocurren solo en instantes determinados establecidos por los pulsos de sincronización de un circuito reloj
- **Asíncronos:** Los estados cambian en función del valor de las entradas, sin requerir tiempos específicos

IEC SFC

- SFC Sequential Function Chart
- Lenguaje gráfico para describir secuencias
- Antecedentes: Redes de Petri
- Muy similar a Grafcet
- Puede usarse a distintos niveles
- Estados, transiciones y acciones

SFC



Cuando la condición lógica asociada a una transición es cierta (y el proceso se encuentra en el estado anterior) se desactiva la etapa anterior y se activa la siguiente, ejecutándose las acciones asociadas a esta. La condición lógica puede expresarse en varios lenguajes IEC

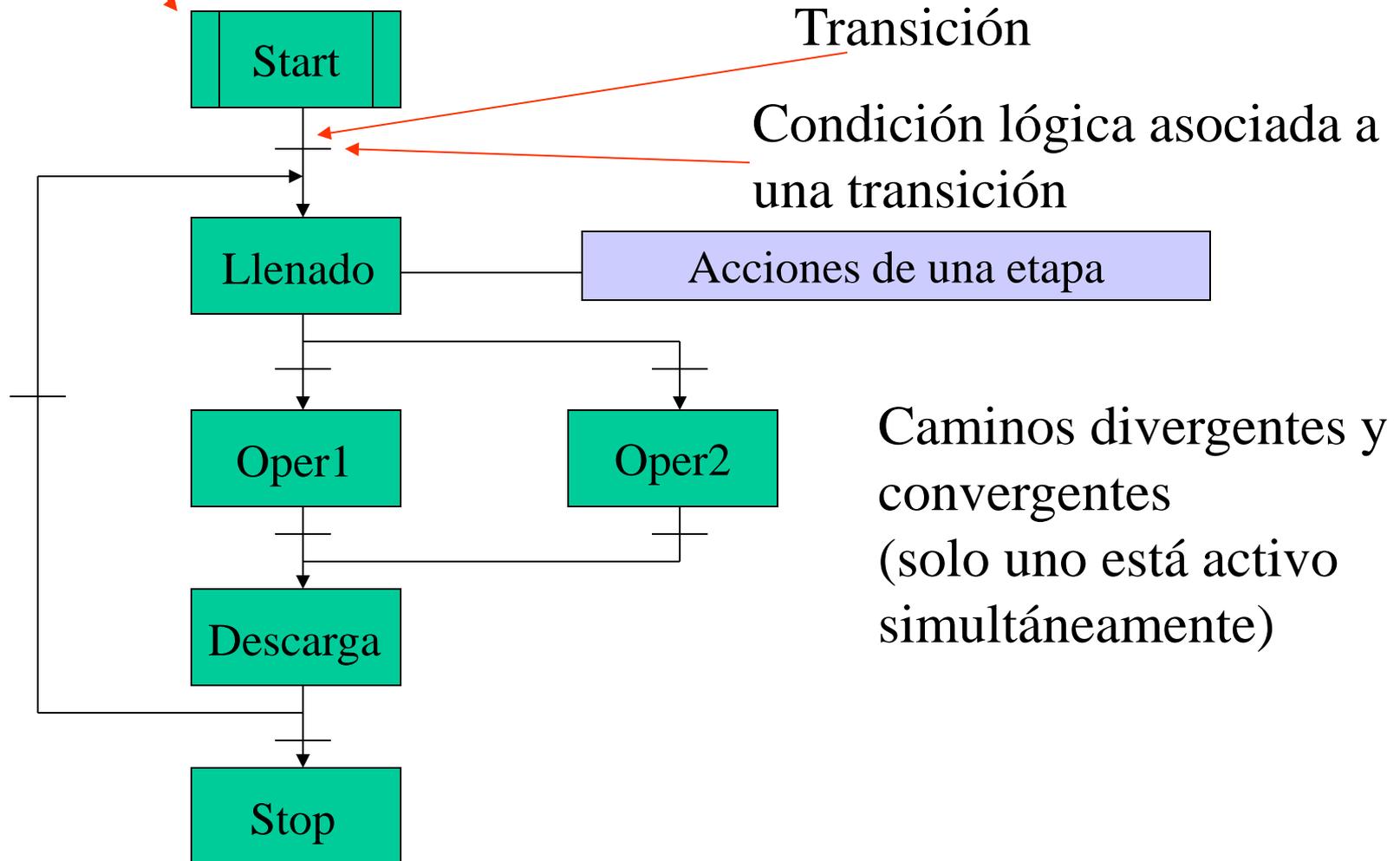
Variables asociadas a una etapa:

etapa.X = 1 si el proceso está en esa etapa, 0 si no está

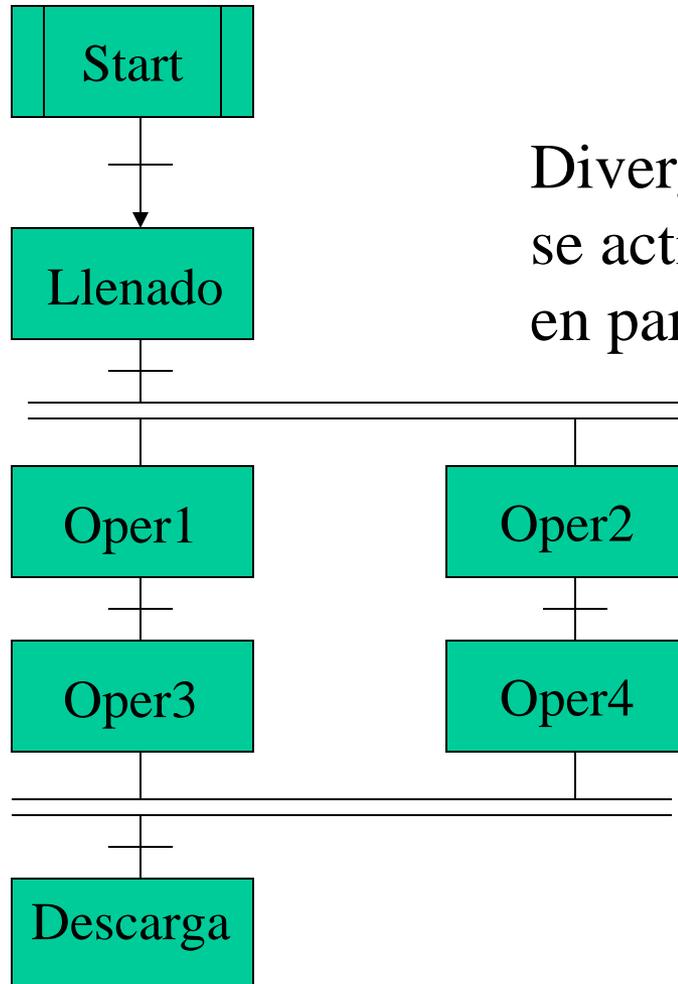
etapa.T = tiempo transcurrido desde que se activa

Comienzo

SFC / Grafcet



Secuencias simultaneas



Divergencia simultanea:
se activan Oper1 y Oper2
en paralelo

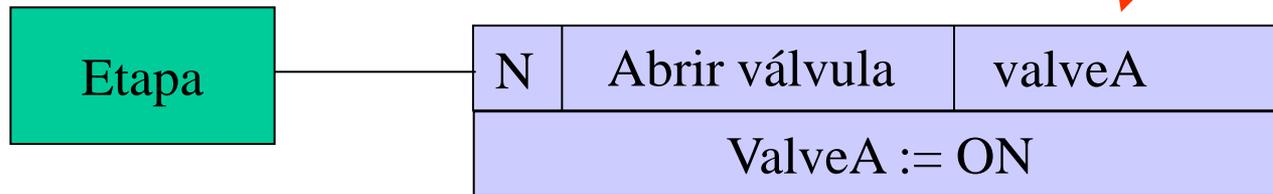
Convergencia simultanea:
cuando Oper3 y Oper4
están activas y se cumple
la transición se pasa a
Descarga

Acciones

Cualificador:
indica cuando se
ejecuta la acción

Acción: Nombre único que
describe la acción, bien en el
SFC, o mediante alguno de los
lenguajes IEC

Variable indicadora
opcional

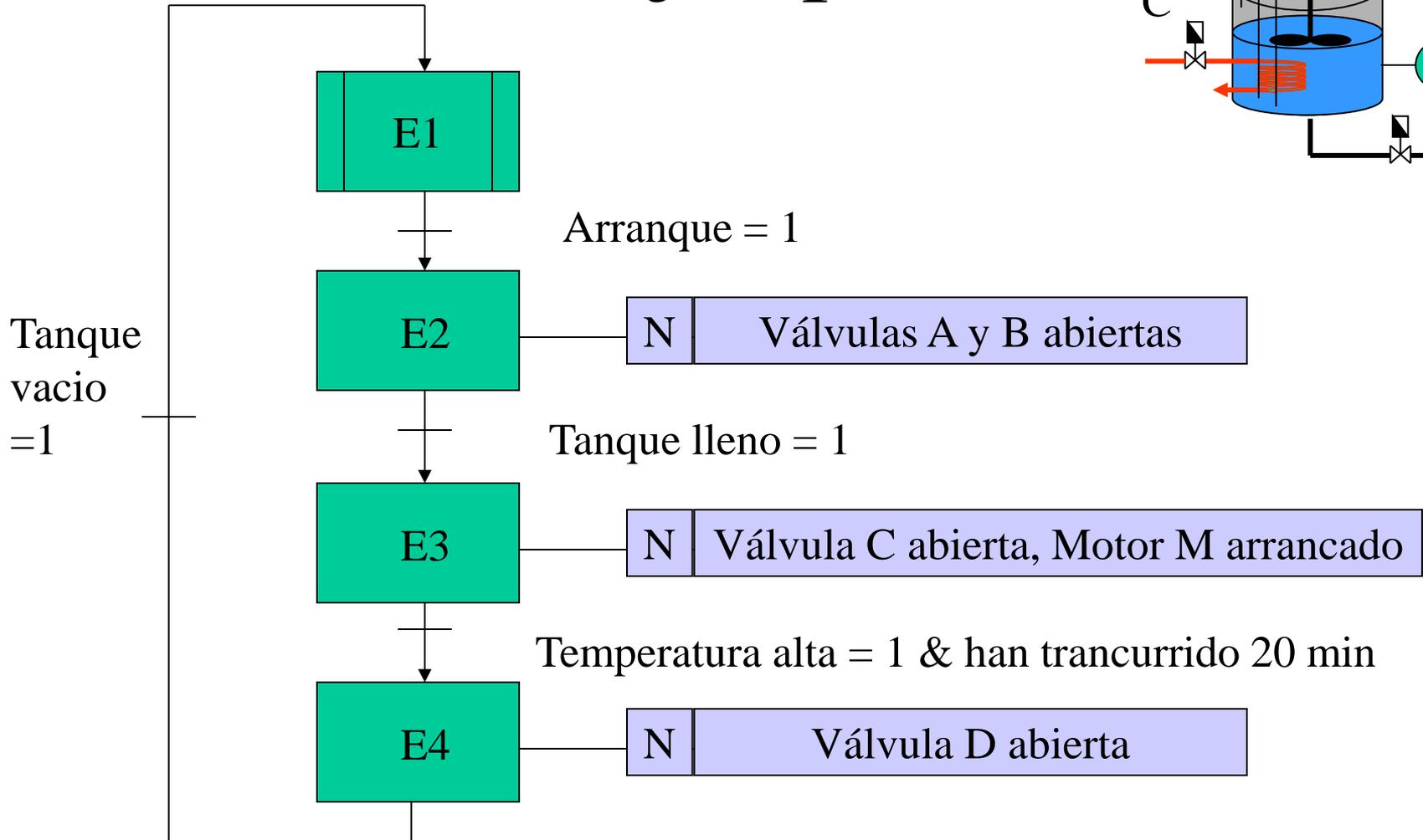
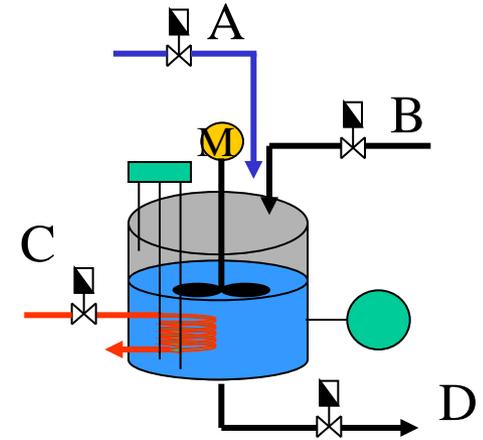


Acciones / Cualificadores



- N Se ejecuta cuando la etapa está activa
- S Se comienza a ejecutar cuando la etapa está activa y continua hasta un reset
- R reset de una acción anterior
- D x Comienza a ejecutarse x sg después de que la etapa esté activa y mientras esté activa
- L Se ejecuta solo una vez al activarse la etapa

Ejemplo



E1

E2

E3

E4

Arranque = 1

N

Válvulas A y B abiertas

Tanque lleno = 1

N

Válvula C abierta, Motor M arrancado

Temperatura alta = 1 & han transcurrido 20 min

N

Válvula D abierta

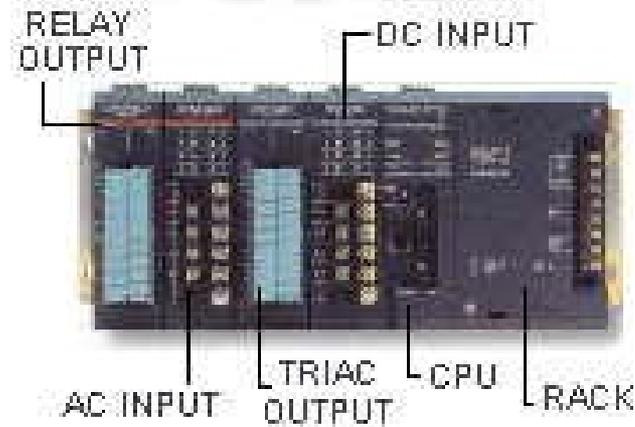
Autómatas programables

Dispositivos programables orientados a implementar funciones lógicas y secuenciales conectados a un proceso

Final de los 60 Modicon

Autómatas de alta gama con mas funciones

- CPU
- Comunicaciones
- Tarjetas I/O
- Alimentación



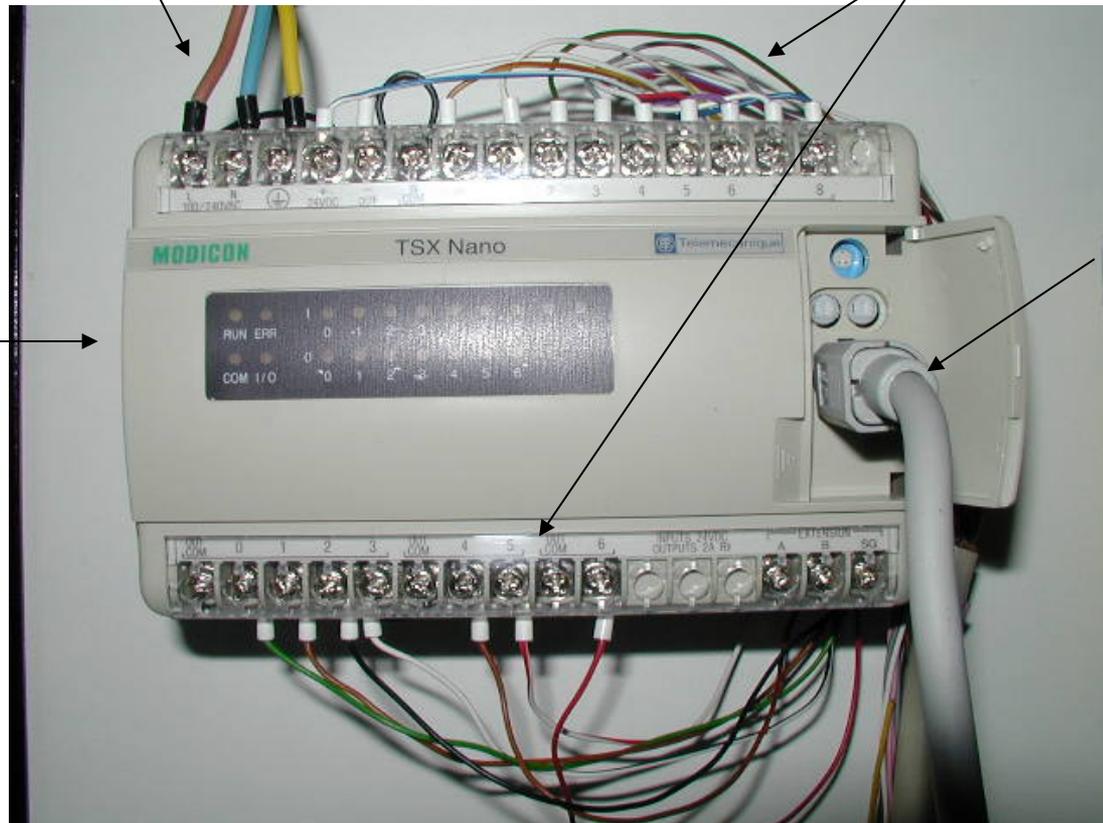
TSX Nano

Power supply

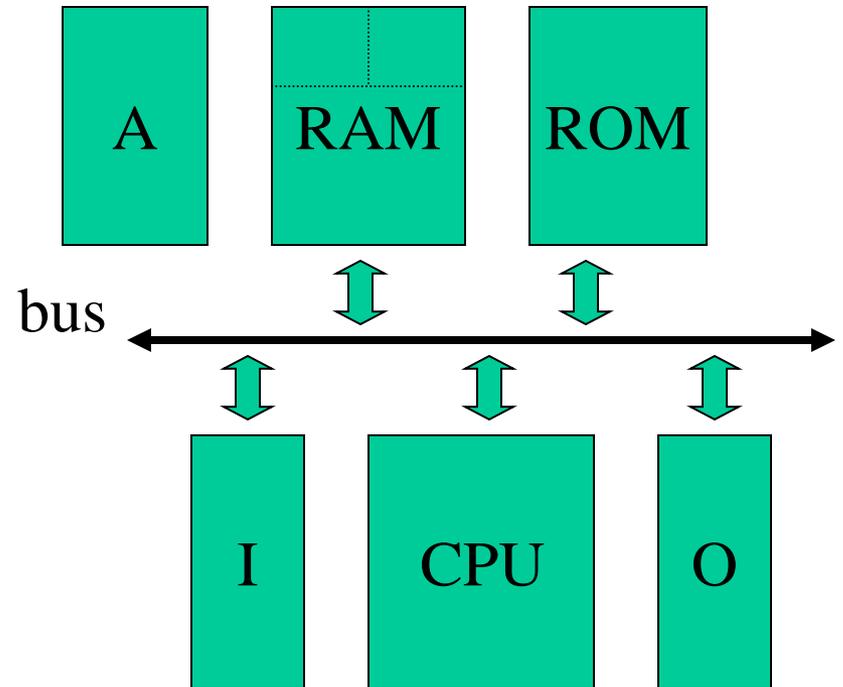
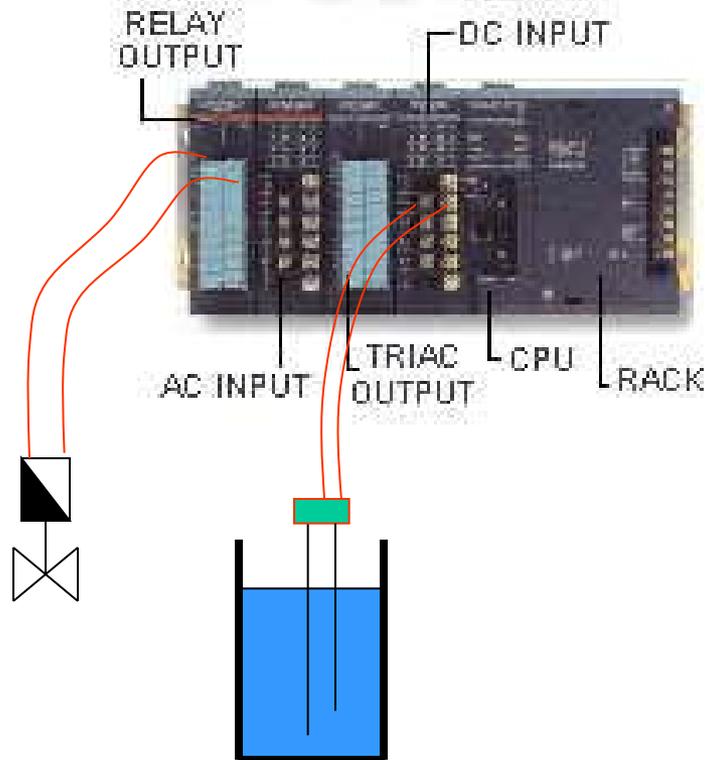
I/O signals

Display

RS232 link



Arquitectura



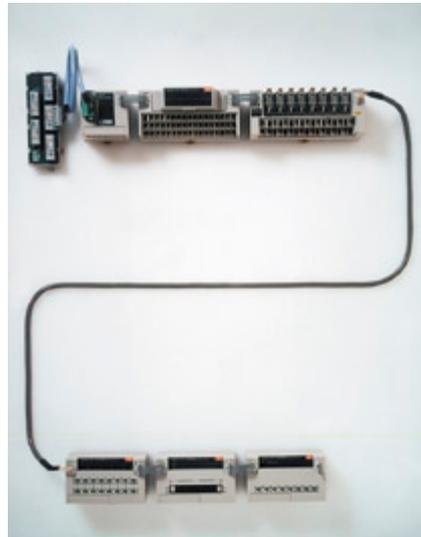
A: Alimentación y Bateria

Distintos tipos de tarjetas de entrada/salida

Tarjetas de E/S

- Las tarjetas de entrada tienen relés de entrada, transistores, etc. (contactos) conectados a dispositivos externos: sensores, switches, etc. y reciben las señales de campo convirtiéndolas en 0/1 en la memoria del PLC según su valor.
- Las tarjetas de salida tienen relés de salida, triacs, transistores, etc. (bobinas) conectados a dispositivos externos: solenoides, luces, sirenas, etc. a los que envían señales on/off dependiendo de los valores 0/1 de la memoria del PLC.
- El software del PLC contiene relés, contadores, etc. virtuales que se utilizan para implementar las funciones lógicas y secuenciales.

PLC networks / buses

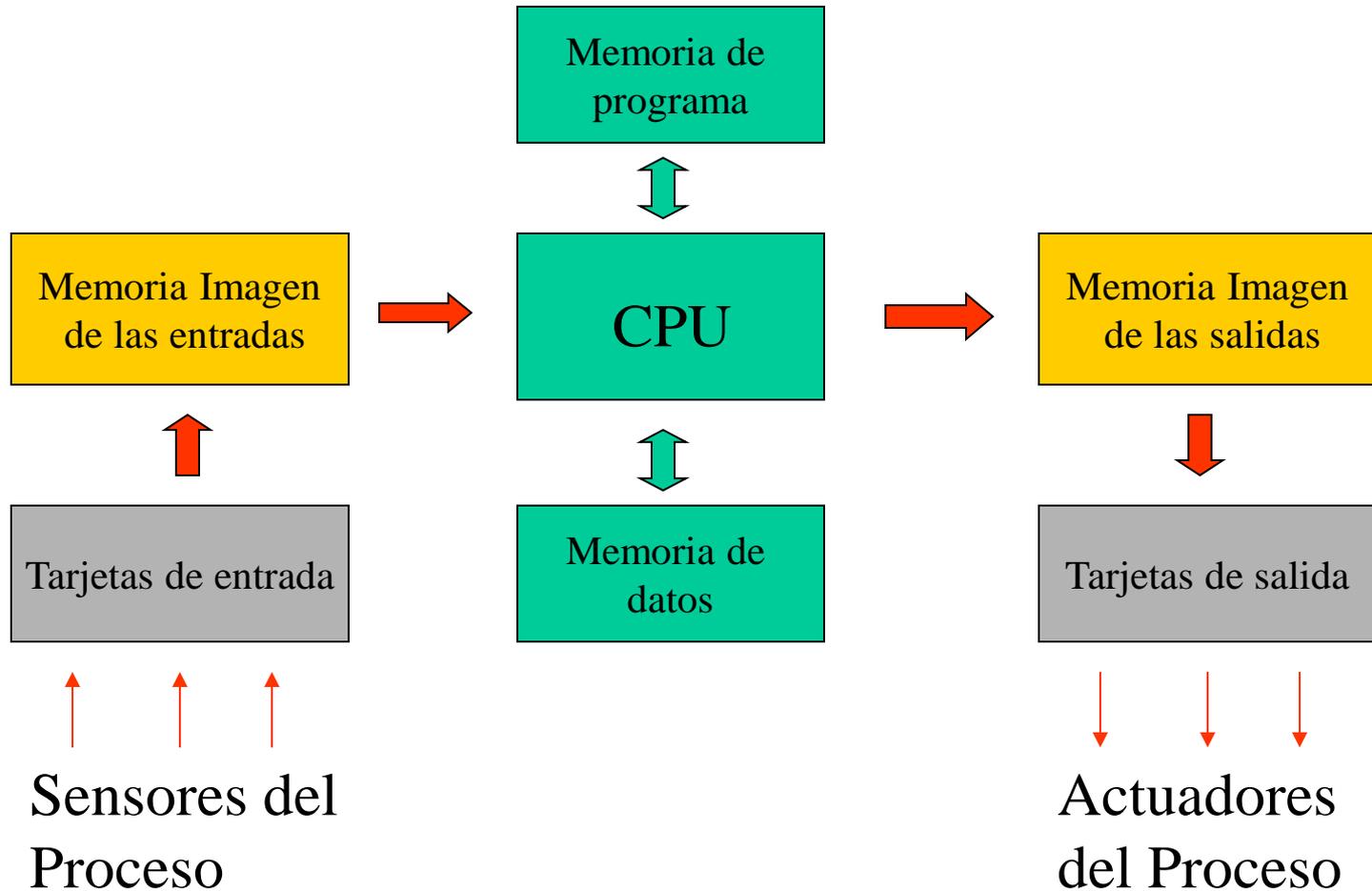


ASI
BITBUS
MODBUS
UNITELWAY
OPC
.....

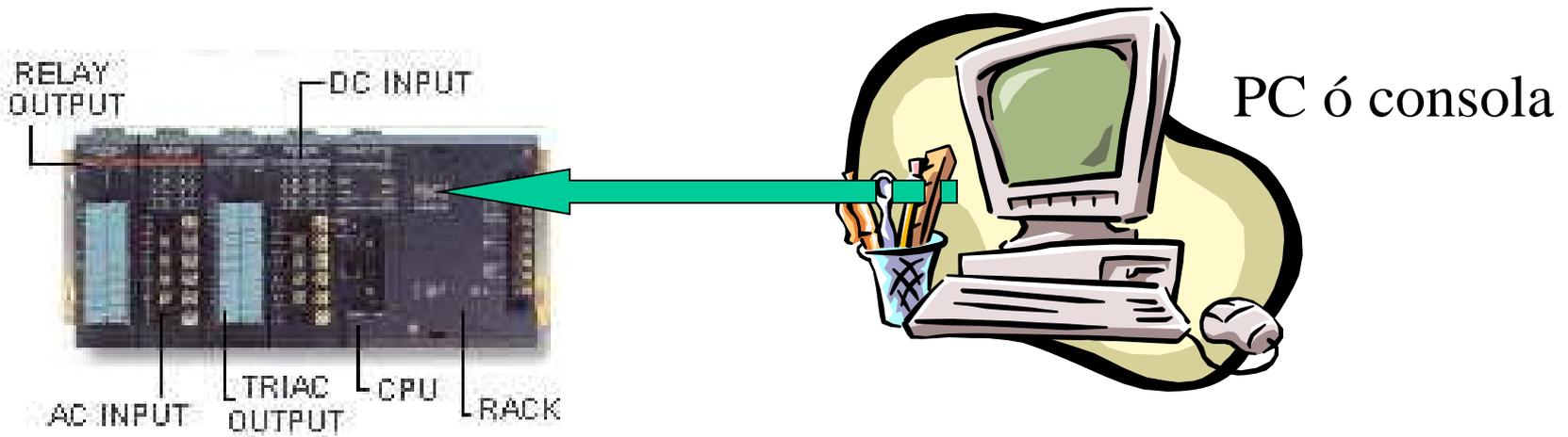
Entre PLCs

Con la instrumentación

Ciclo de trabajo



Programación



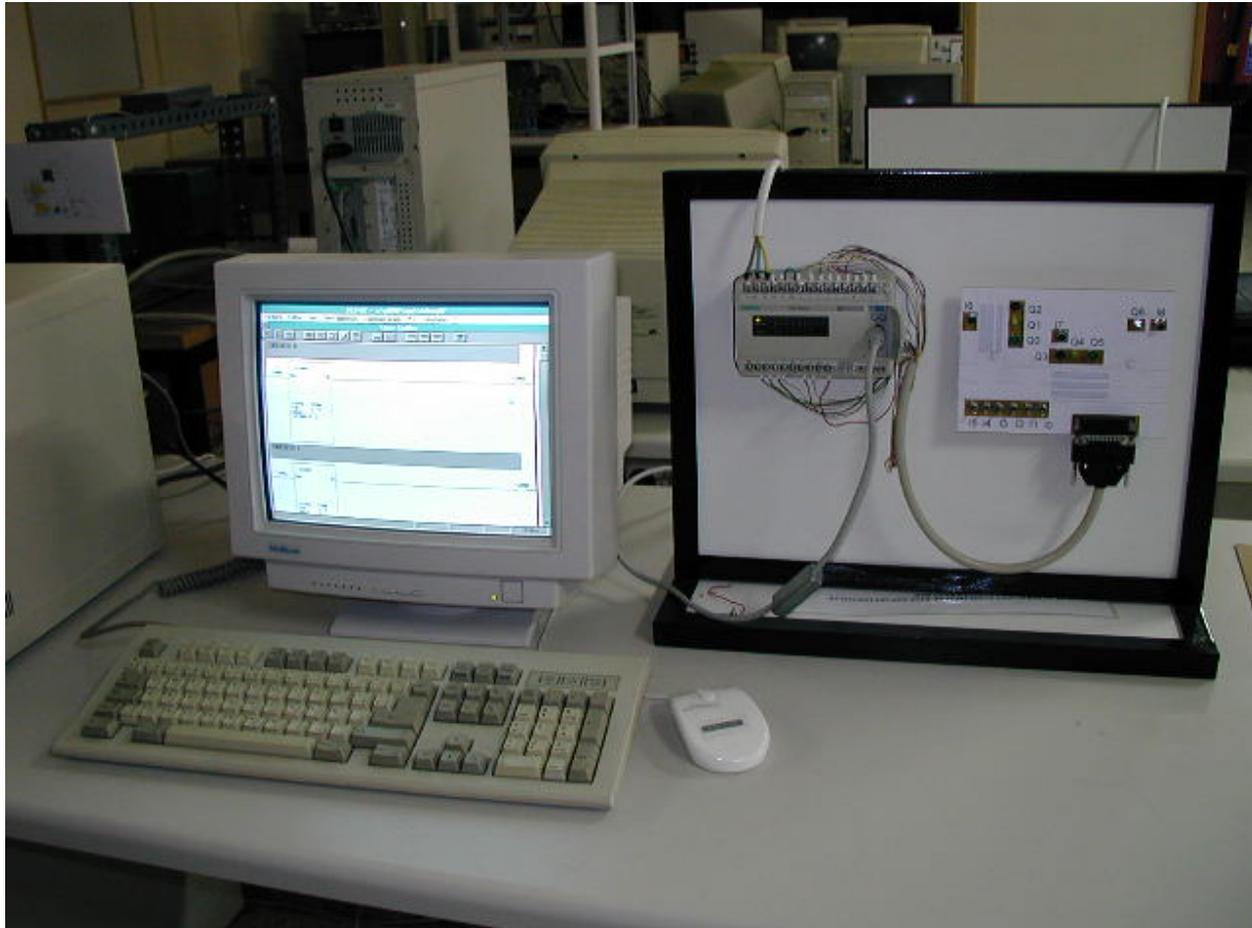
Programación mediante software de configuración

Transferencia al PLC mediante conexión RS-232 o red

Distintas formas de ejecución del programa: cíclica, a una hora, por evento, etc

Posibilidad de supervisión/ depuración desde el PC

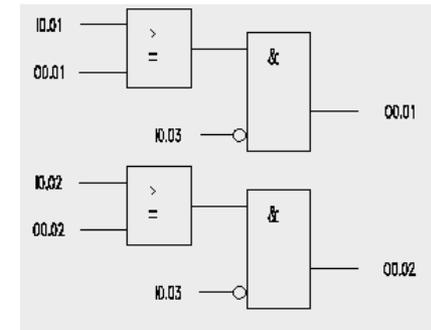
PC + autómata



Lenguajes IEC 61131-3

- Grafcet (SFC) (estructura la organización interna de un programa).
- Cuatro lenguajes de programación:
 - Texto estructurado (ST) ~ Pascal
 - Diagramas de bloques funcionales (FB)
 - Diagramas de escalera (LD)
 - Lista de instrucciones (IL)

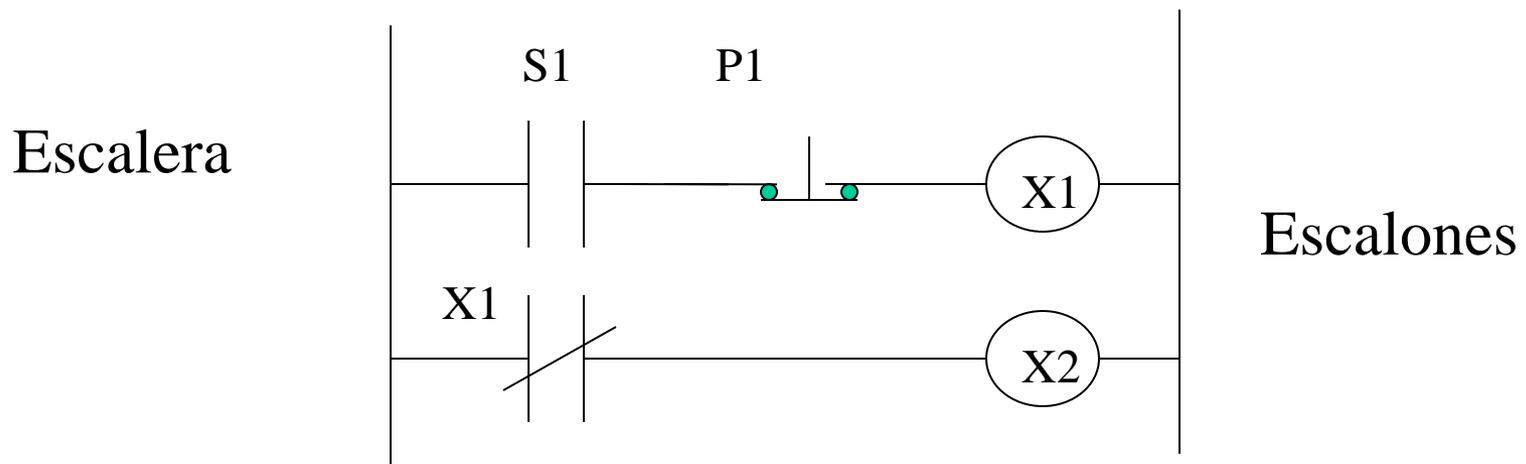
000	LD	%I0.1	Bp. inicio ciclo
	AND	%I0.0	Dp. presencia vehiculo
	AND	%M3	Bit autorización reloj calendario
	AND	%I0.5	Fc. alto rodillo
	AND	%I0.4	Fc. detrás pórtico
005	S	%M0	Memo inicio ciclo
	LD	%M2	
	AND	%I0.5	
	OR	%I0.2	Bp. parada ciclo
	R	%M0	
010	LD	%M0	
	ST	%Q0.0	Piloto ciclo



<http://www.plcopen.org/>

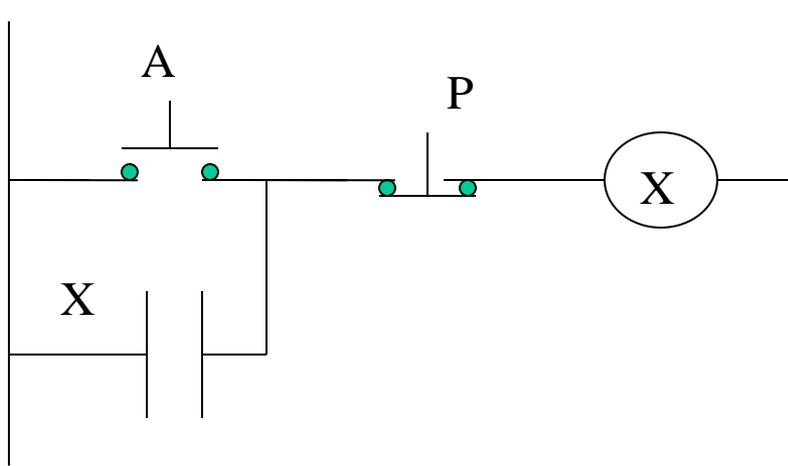
Diagramas de escalera (Ladder Diagrams)

- Programación gráfica
- Usados por la semejanza con los diagramas de contactos
- Los escalones se ejecutan secuencialmente de abajo arriba y de izquierda a derecha



Automantenimiento

Arranque y parada de un motor con dos pulsadores

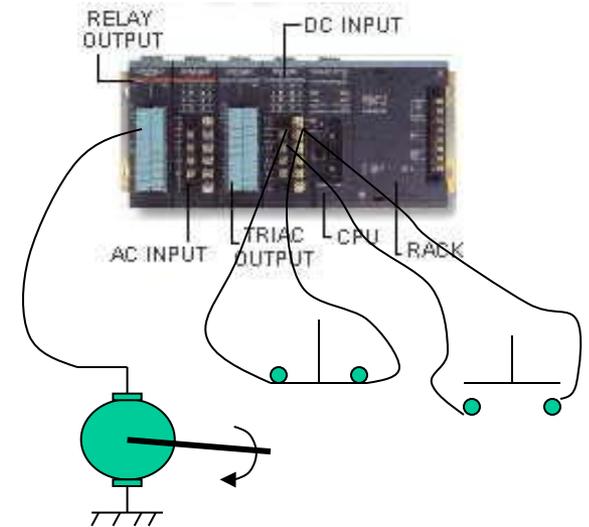


También:

SET

RES

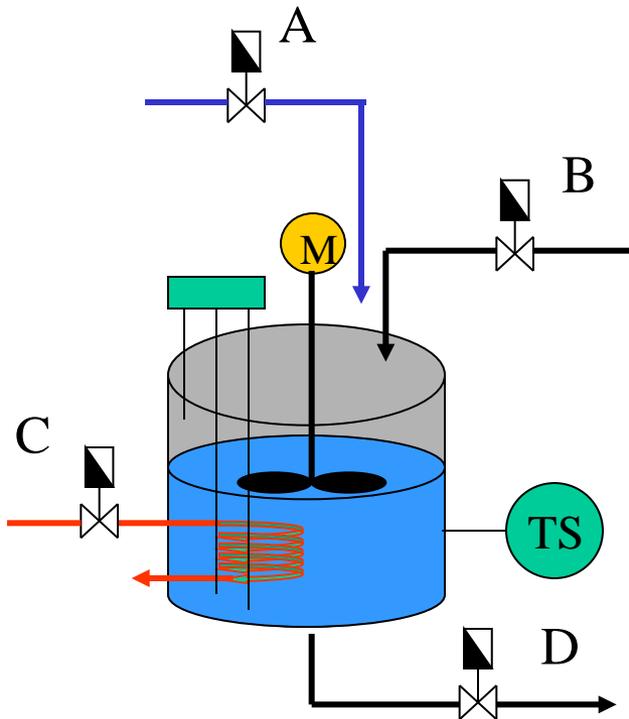
Latching instructions



Diagramas de contactos

- En procesos secuenciales:
 - Escalones para activar las etapas
 - Escalones para activar las transiciones entre etapas
 - Escalones para implementar las acciones asociadas a cada etapa

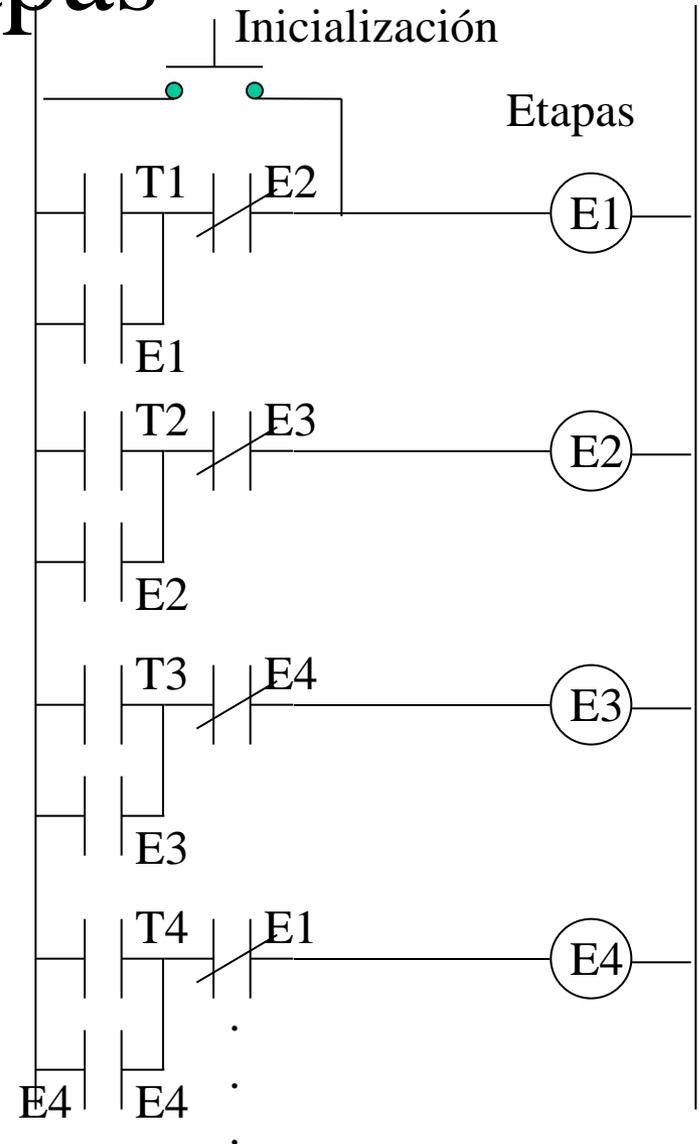
Ejemplo: etapas



E etapa

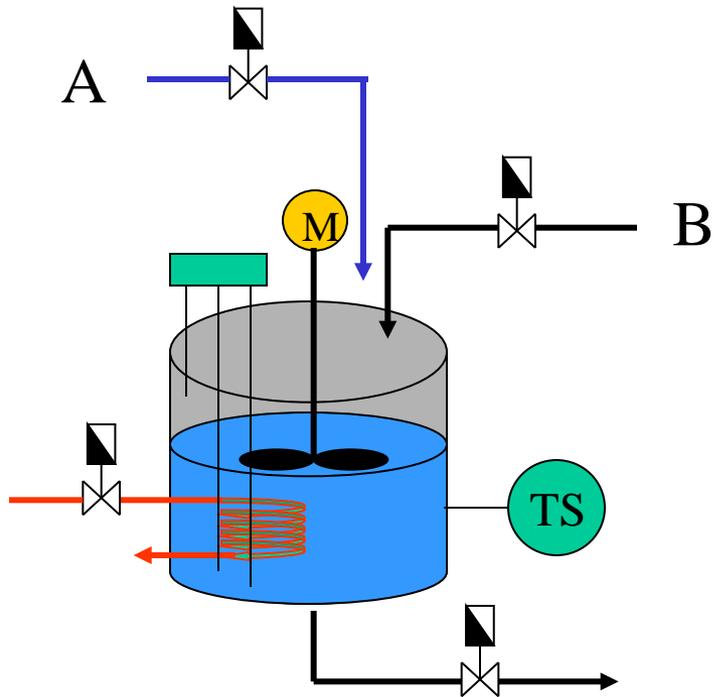
T condicion de salto de etapa

Inicialización



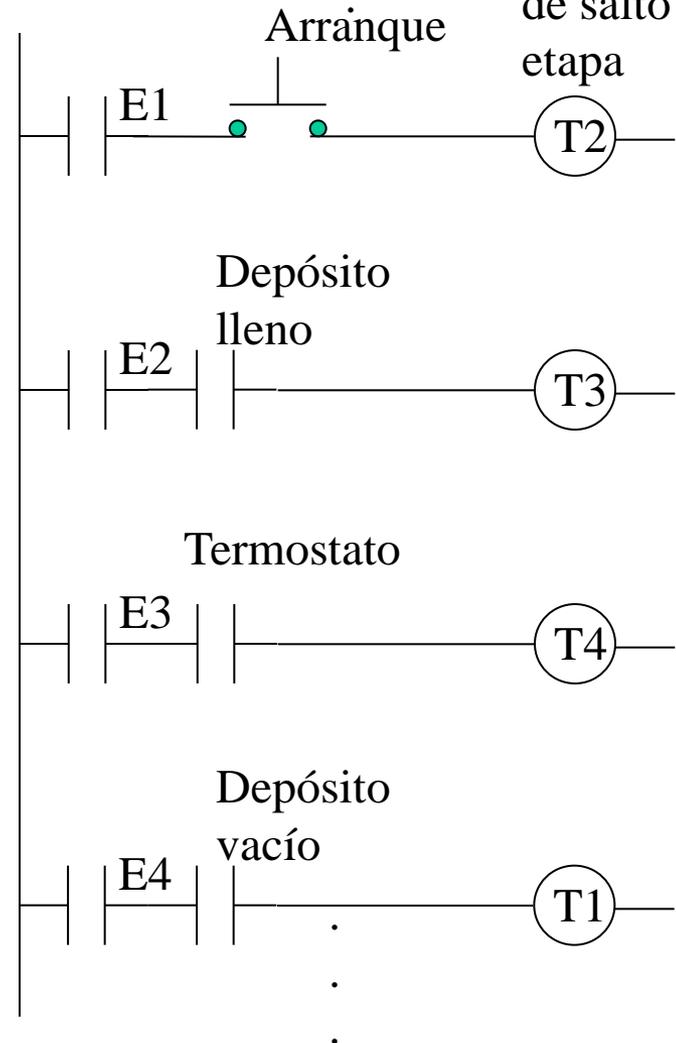
Salto de etapa

Condición de salto de etapa

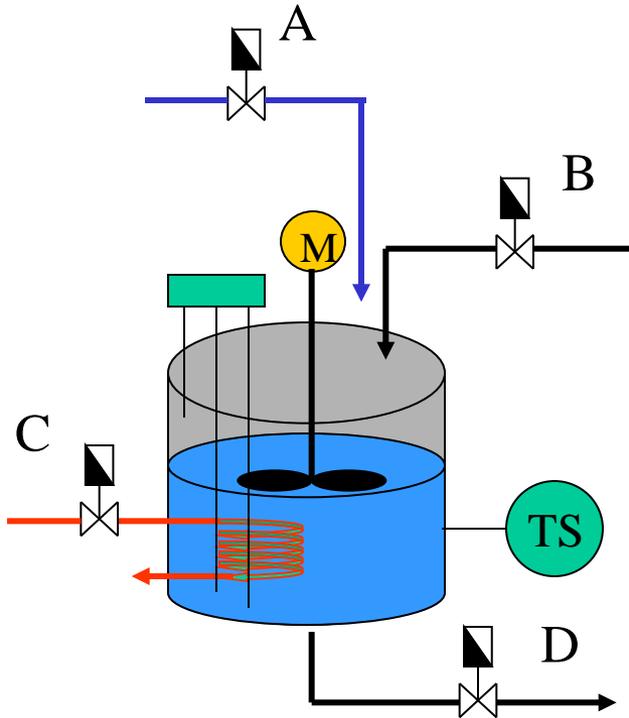


E etapa

T condición de salto de etapa

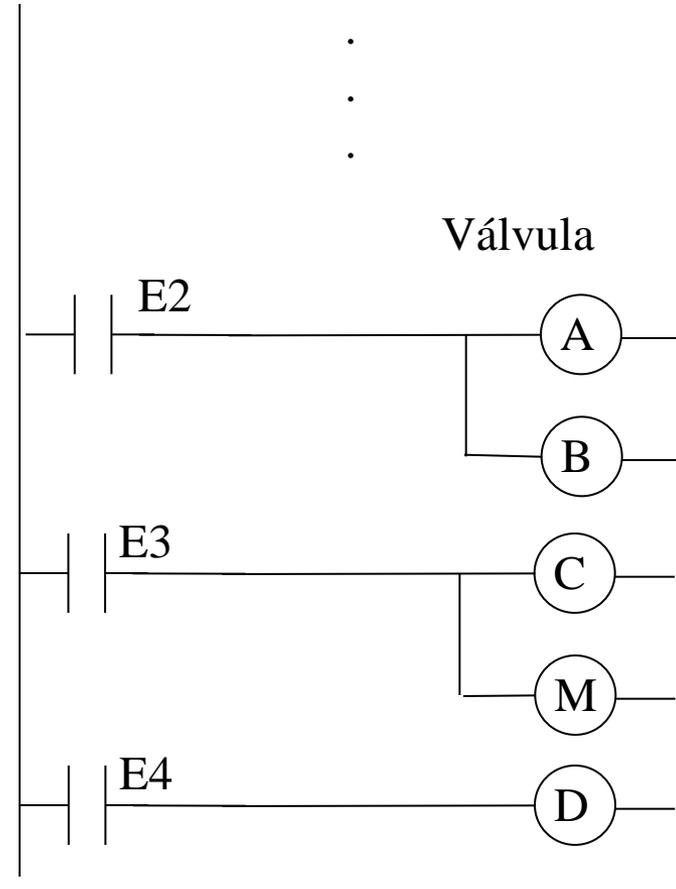


Acciones

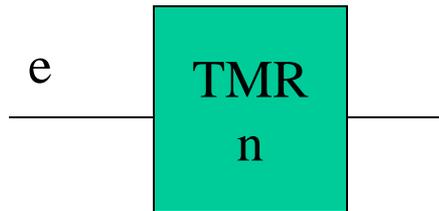


E etapa

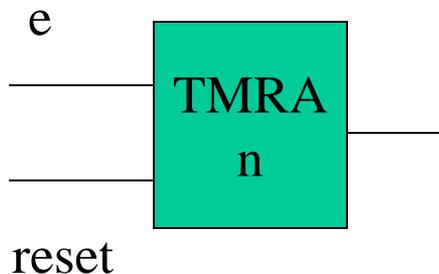
A,B,C,D Electroválvulas



Temporizadores

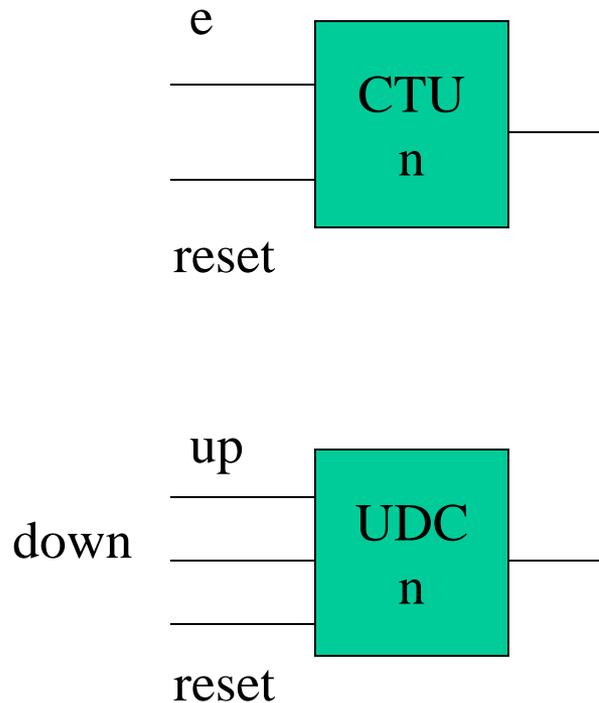


Ton Tof Timer on/off delay. La salida se activa n periodos después de que se active la entrada. El temporizador se resetea si la entrada se desactiva antes de n .



La salida se activa n periodos después de que se active e . Si e se desactiva antes de n , el temporizador conserva el tiempo acumulado. El temporizador solo resetea si se activa la entrada de reset.

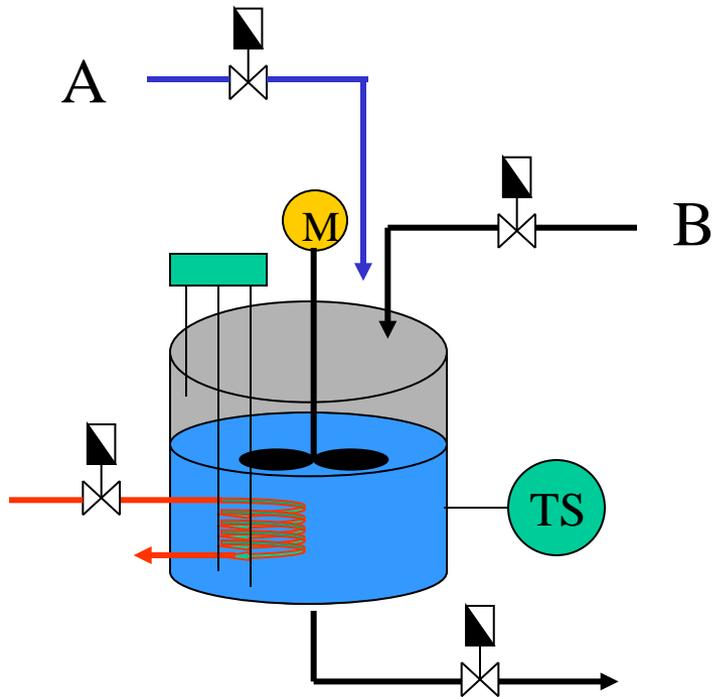
Contadores



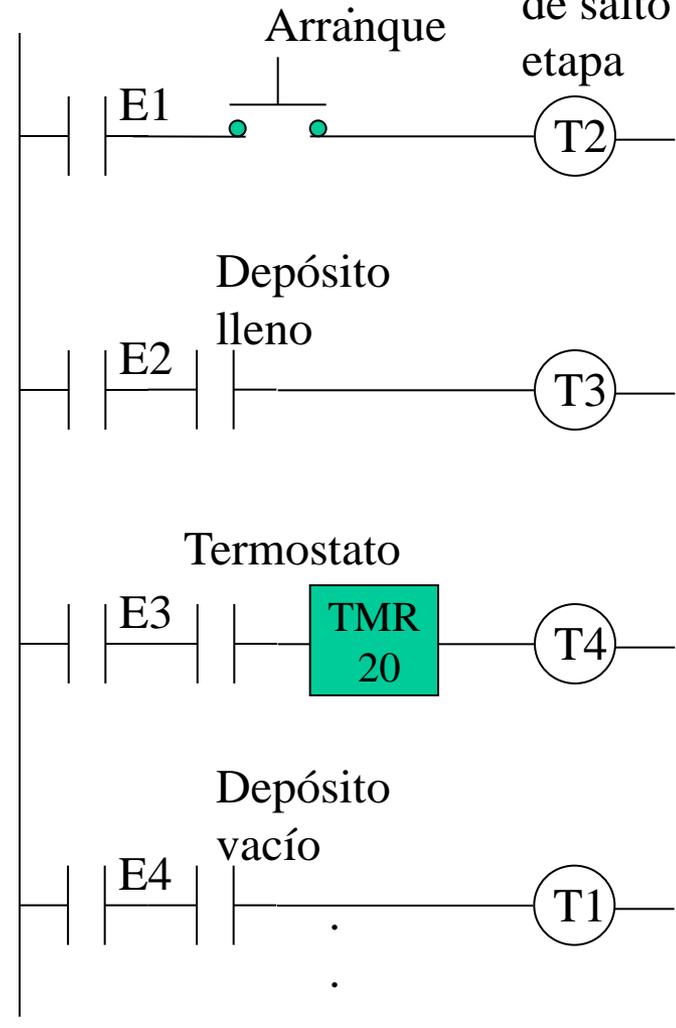
La salida se activa cuando la entrada cambia de falso a cierto n veces. El contador se resetea a cero cuando la entrada de reset se activa.

Salto de etapa

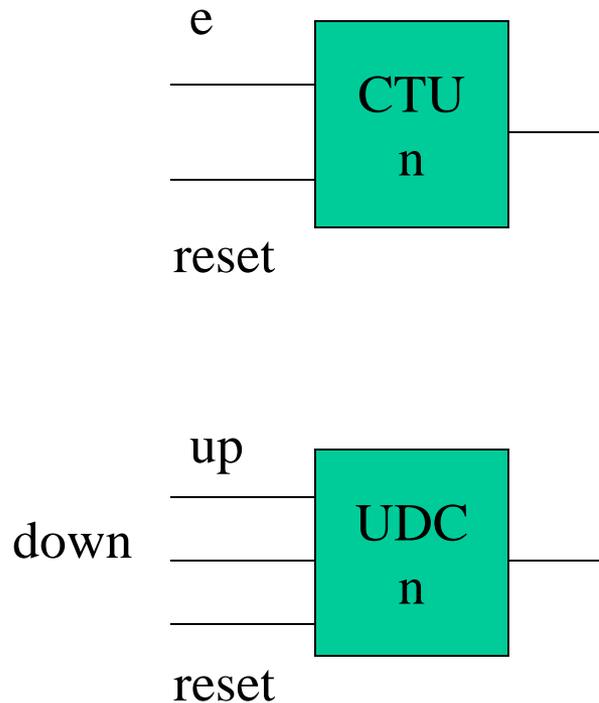
Condición de salto de etapa



Se requiere permanecer un cierto tiempo en la etapa 3 antes de iniciar la descarga



Contadores



La salida se activa cuando ha cambiado n veces de valor de falso a cierto. El valor del contador se pone a cero cuando se activa la línea de reset.

TSX Nano

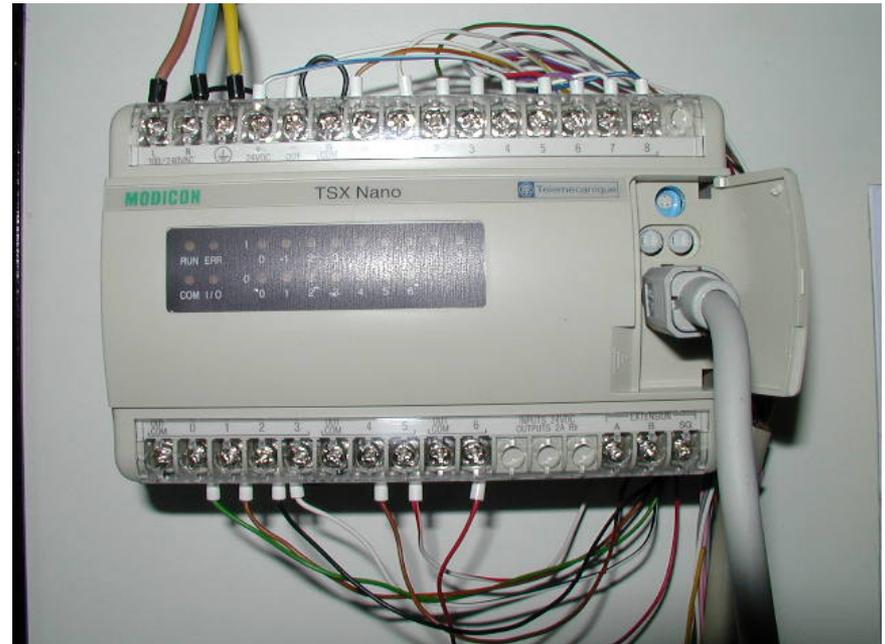
Número de entradas: 9 (%I0.0 a %I0.8). (Lógica positiva)

Número de salidas: 7 (%Q0.0 a %Q0.6), todas digitales a relé.

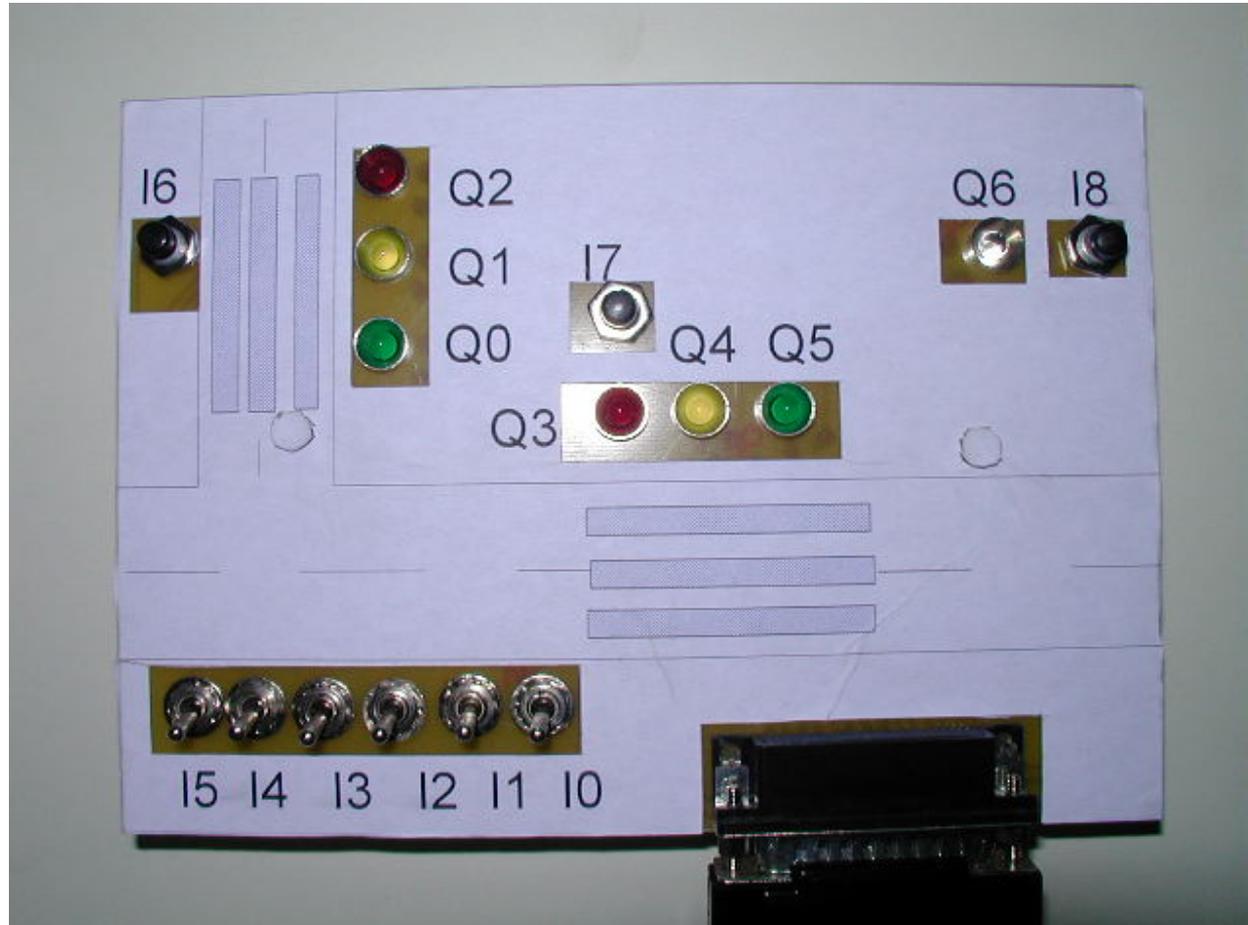
Posibilidades de expansión:

1 autómata como extensión de entradas/salidas.

3 autómatas como extensión de autómata.



Semáforos



Proceso batch



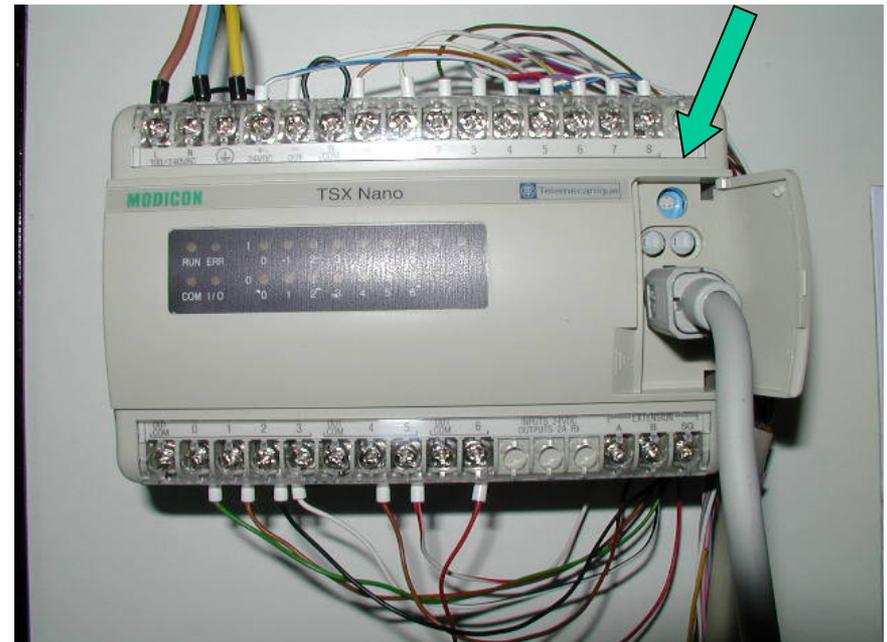
TSX Nano

Cada autómeta dispone de un selector que indica su configuración.

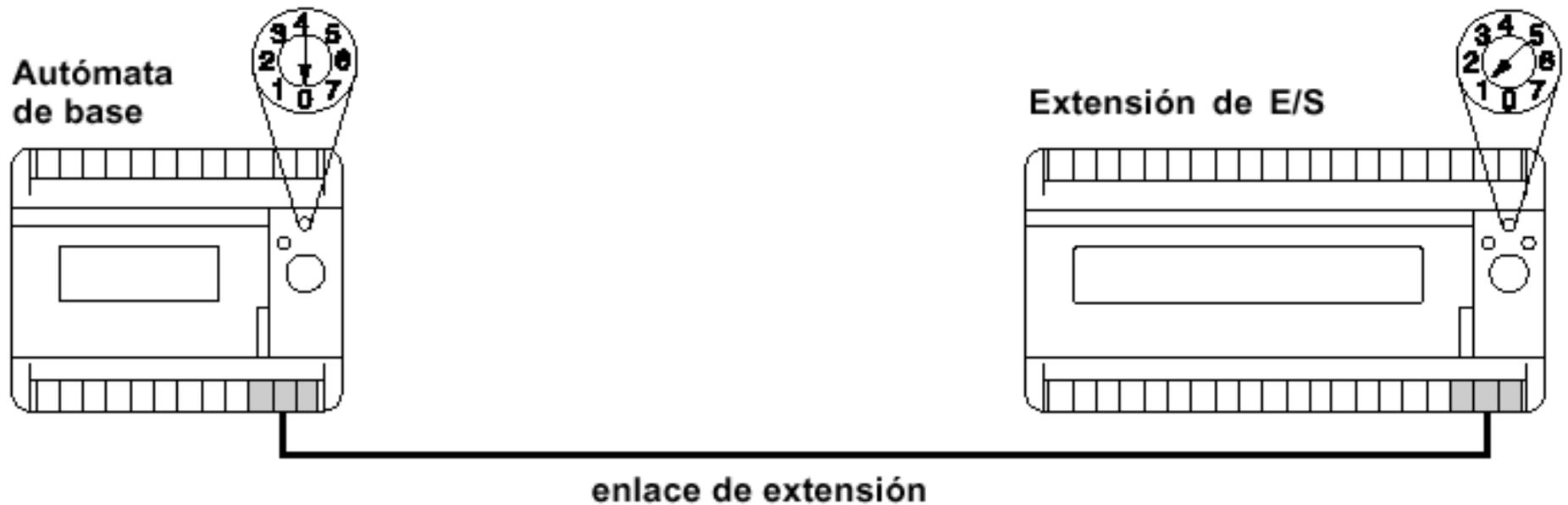
Posición en 0: autómeta individual ó maestro.

Posición en 1: autómeta como extensión de entradas/salidas del maestro.

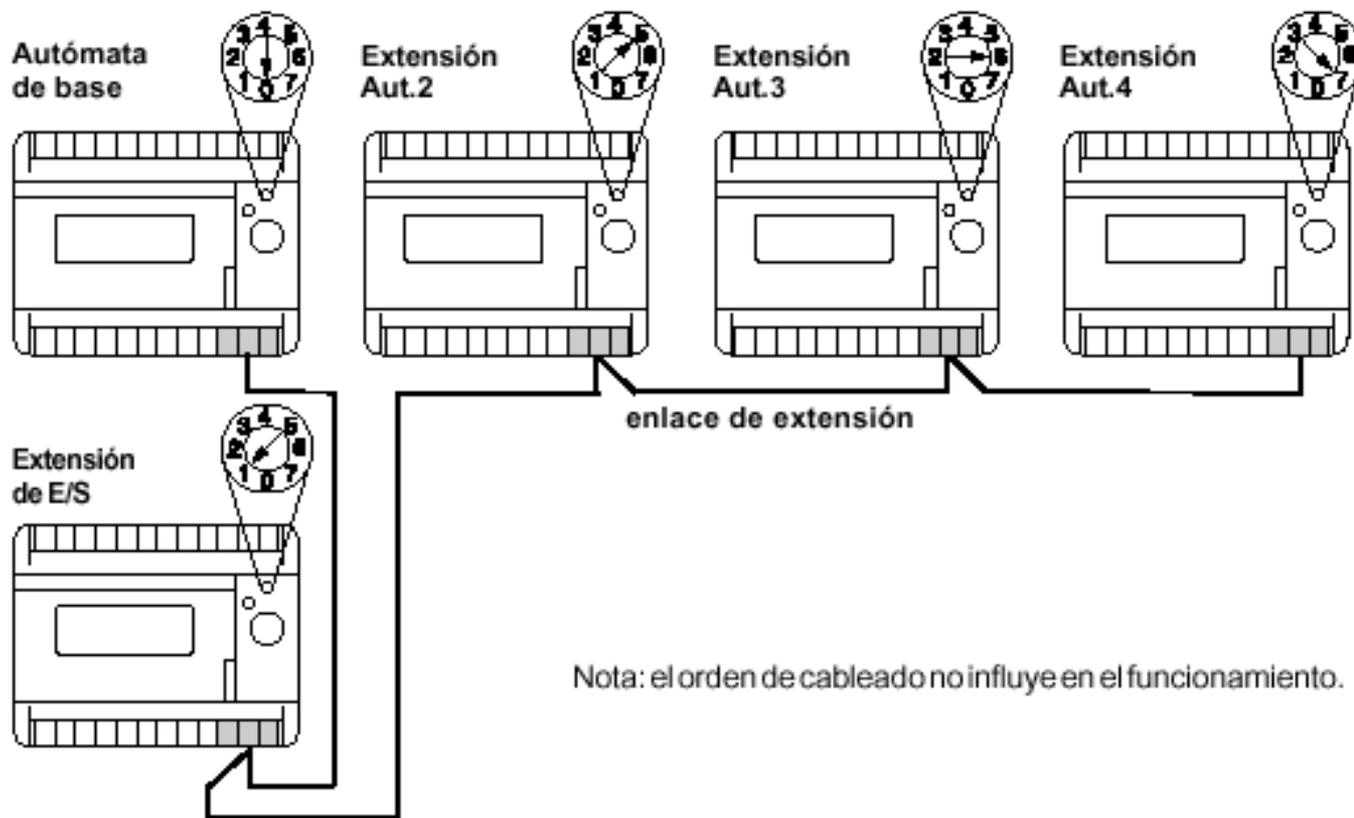
Posición en 5, 6 y 7: autómeta configurado como extensión de autómeta.



Extensión de E/S



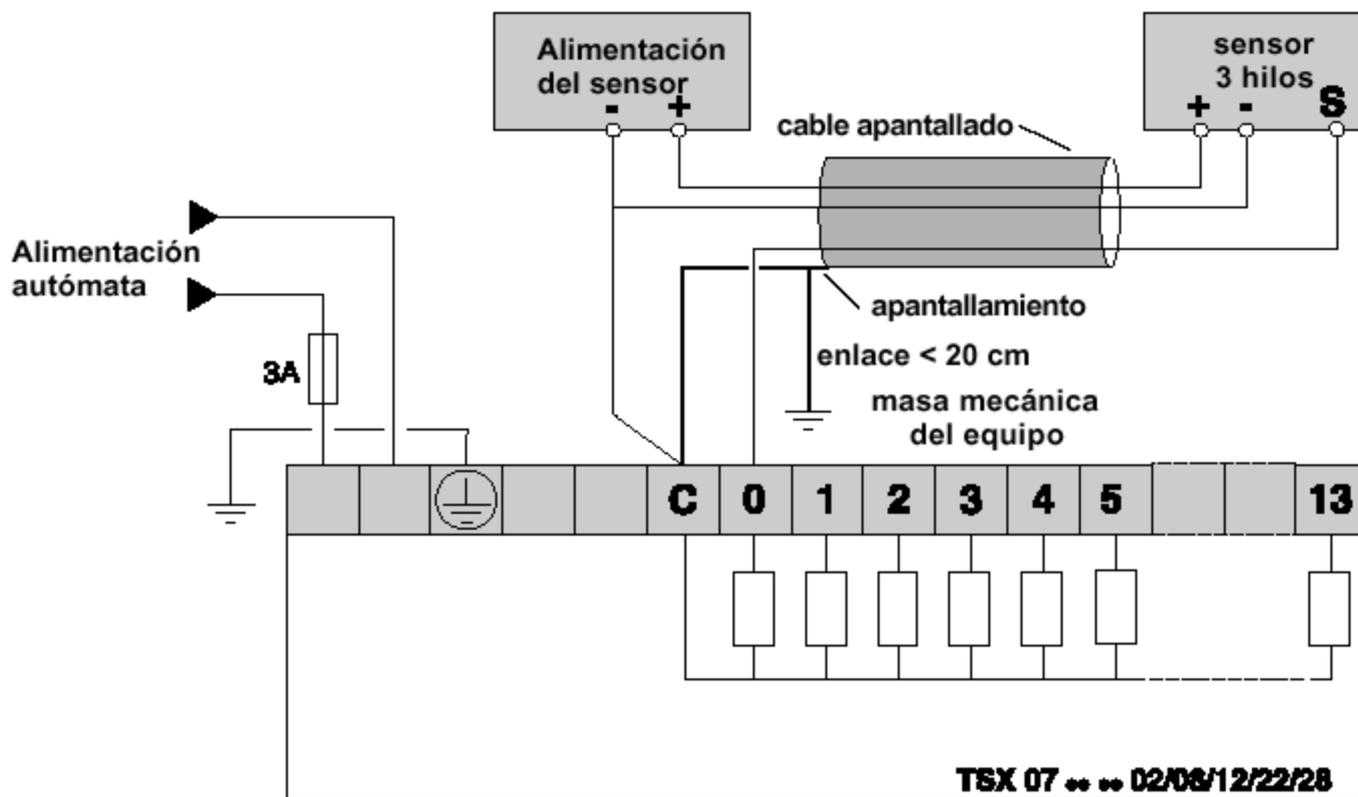
Extensión de autómatas y E/S



Nomenclatura de E/S

%	I o Q	0 ó 1	.	i
símbolo	I = entrada Q = salida	0 = autómata de base o extensión autómata 1 = extensión de las entradas/salidas	punto	i = número de vía (véase la siguiente tabla)

Conexión



Nomenclatura de variables

Tipo	Dirección (o valor)	Número máximo	Acceso en escritura(1)	Ver apart.
Valor inmediato	0 ó 1	-	-	-
Bits de entrada de salida	%I0.i o %I1.i (2) %Q0.i o %Q1.i (2)	28 20	no sí	1.5 Sec.A
Bits internos	%Mi	128 (3)	sí	
Bits de sistema	%Si	128	según i	5.1
Bits de etapa Grafcet	%Xi	62	sí	2.3-1
Bits de bloques función	%Tmi.Q %Dri.F.....		no (4)	2.2-1
Bits bloques función reversible	E,D,F,Q,TH0,TH1		no	3.3-1
Bits extraídos palabr.				3.1-1

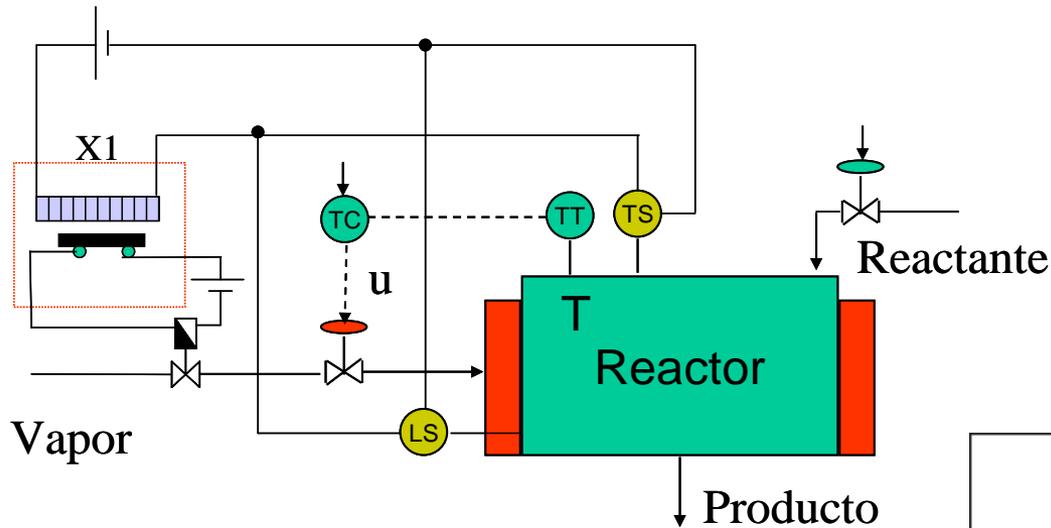
Bloques funcionales

Bloques función estándares	Palabras y bits asociados		Dirección	Acceso escritura	Ver Ap.
Temporizador %T _{Mi} (i = 0 a 31)	Palabra	Valor actual	%T _{Mi} .V	no	2.2-3
		Valor de preselección	%T _{Mi} .P	sí	
	Bit	Salida temporizador	%T _{Mi} .Q	no	
Contador/ descontador %C _i (i = 0 a 15)	Palabra	Valor actual	%C _i .V	no	2.2-4
		Valor de preselección	%C _i .P	sí	
	Bit	Salida desbordam.(vacío)	%C _i .E	no	
		Salida preselec. alcanzada	%C _i .D	no	
		Salida desbordam. (lleno)	%C _i .F	no	
Registro palabra %R _i (i = 0 a 3)	Palabra	Acceso al registro	%R _i .I	sí	2.2-5
		Salida del registro	%R _i .O	sí	
	Bit	Salida del registro lleno	%R _i .F	no	
		Salida del registro vacío	%R _i .E	no	
Programador cíclico %D _{Ri} (i = 0 a 3)	Palabra	Nº de paso en curso	%D _{Ri} .S	sí	2.2-6
	Bit	Ultimo paso definido en curso		%D _{Ri} .F	

SIF SIS SIL

- Sistemas para asegurar una operación segura y un parada controlada cuando sea necesario
- IEC 61508 (ISA S84.01), IEC61511 standards
- SIF Safety Instrumented Function (Conjunto de acciones que protegen frente a un determinado riesgo)
- SIS Safety Instrumented Systems (Sistemas Instrumentados de Seguridad) (compuestos por varios SIF)
- SIL Safety Integrity Level (1, 2, 3) (Nivel de protección de un SIF)
- El diseño del sistema de control y el sistema de seguridad ha de hacerse conjuntamente pero la implementación debe ser separada.

SIS



1 Sensores (distintos de los del sistema de control y cableados independientemente)

2 Lógica de actuación implementada en un PLC independiente

3 Actuadores

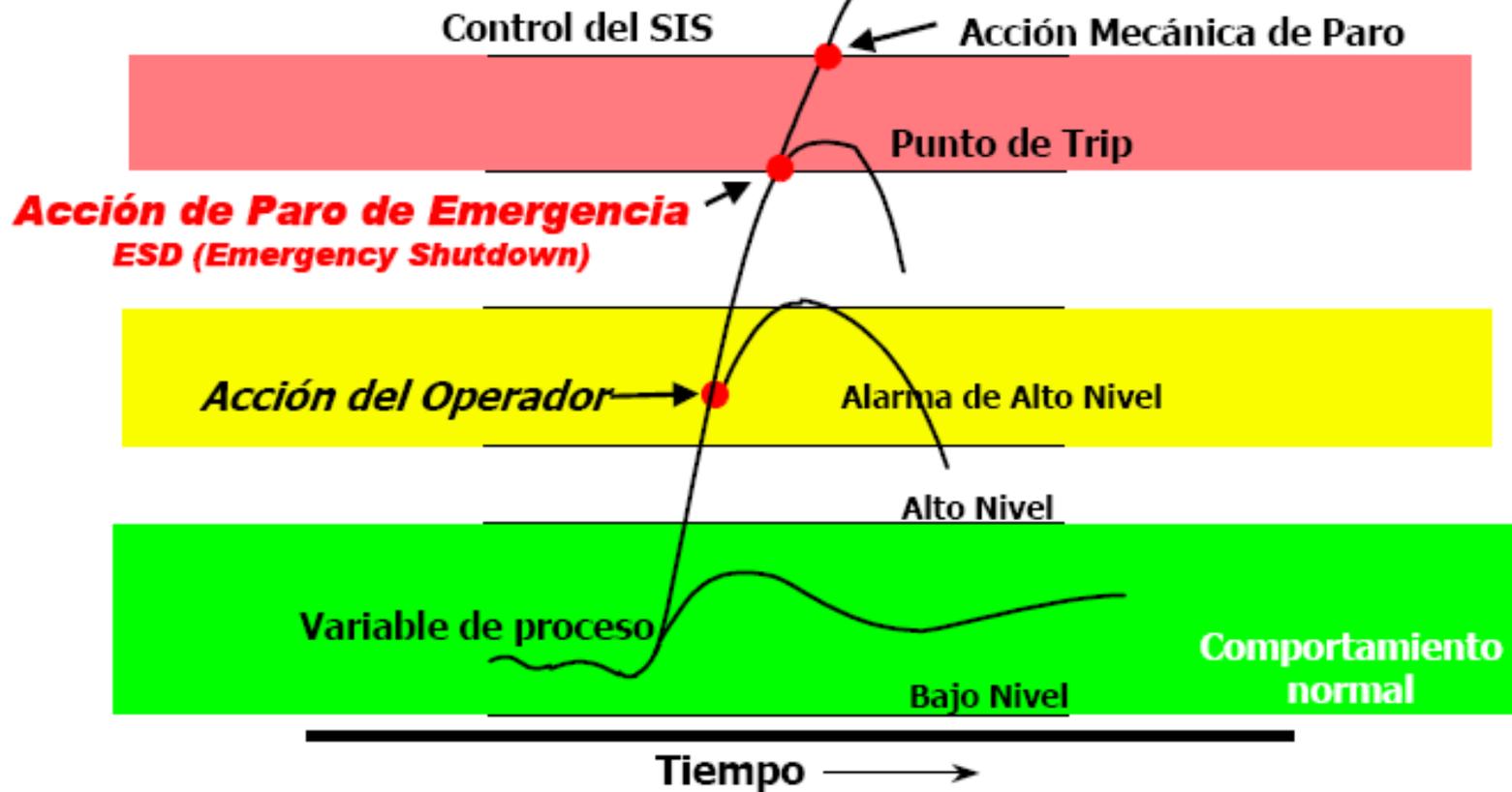
Debe proporcionarse el dato de tiempo medio entre fallos



Per IEC 61508, the DeltaV SIS system and the DeltaV system are separate, yet have integrated engineering software.

SIS

¿ Qué hace un SIS ?



SIL de un SIF

Table 1: Risk Based on Frequency

Risk level	Descriptor	Frequency of Occurrence
5	Frequent	One per year
4	Probable	One per 10 years
3	Occasional	One per 100 years
2	Remote	One per 1,000 years
1	Improbable	One per 10,000 years

Table 2: Risk Levels Based on Severity

Risk level	Descriptor	Potential consequences
5	Catastrophic	Multiple deaths
4	Severe	Death
3	Serious	Lost time accident
2	Minor	Medical treatment
1	Negligible	No injury

Table 3: Safety Integrity Levels: Target Failure Measures

SIL	Risk Reduction Factor	Average PFD
1	10 to 100	0.1 to 0.01
2	100 to 1,000	0.01 to 0.001
3	1,000 to 10,000	0.001 to 0.0001