

## CAPÍTULO II

### MÉTODO DE DISEÑO DE MÁQUINAS AUTOMÁTICAS DE SECUENCIA FIJA.

#### 2.1. Introducción

Los sistemas industriales de fabricación requieren adaptarse continuamente a requerimientos en sus productos, por eso es importante que las herramientas y los procesos de fabricación sean flexibles. Al emplear robots en los procesos de fabricación se logra la adaptación a diferentes tareas, para esto también son indispensables los elementos de automatización, que conjuntamente forman un sistema de producción completo, conocido como celda de manufactura flexible. **(Investigue: Celdas de Manufactura flexible, Lean Manufacturing, Pokayoka, IoT, Industria 4.0, Sistemas de cómputo Distribuido).**

Una celda de manufactura flexible puede adaptarse de acuerdo a los parámetros de producción, para esto, deben ser capaces de “reprogramarse” mediante elementos de automatización como Controladores Lógicos Programables (PLC's), Máquinas de Control Numérico (CNC) y Robots. En este capítulo comenzaremos a resolver problemas de automatización con PLC's, para esto se requiere del conocimiento de la simbología estandarizada que se muestra a continuación.

#### 2.2. Diagramas esquemáticos de elementos actuadores y de control.

Fig 2.1 Actuadores (Transformación de Energía). Simbología ISO 1219 (Fuente: FESTO)

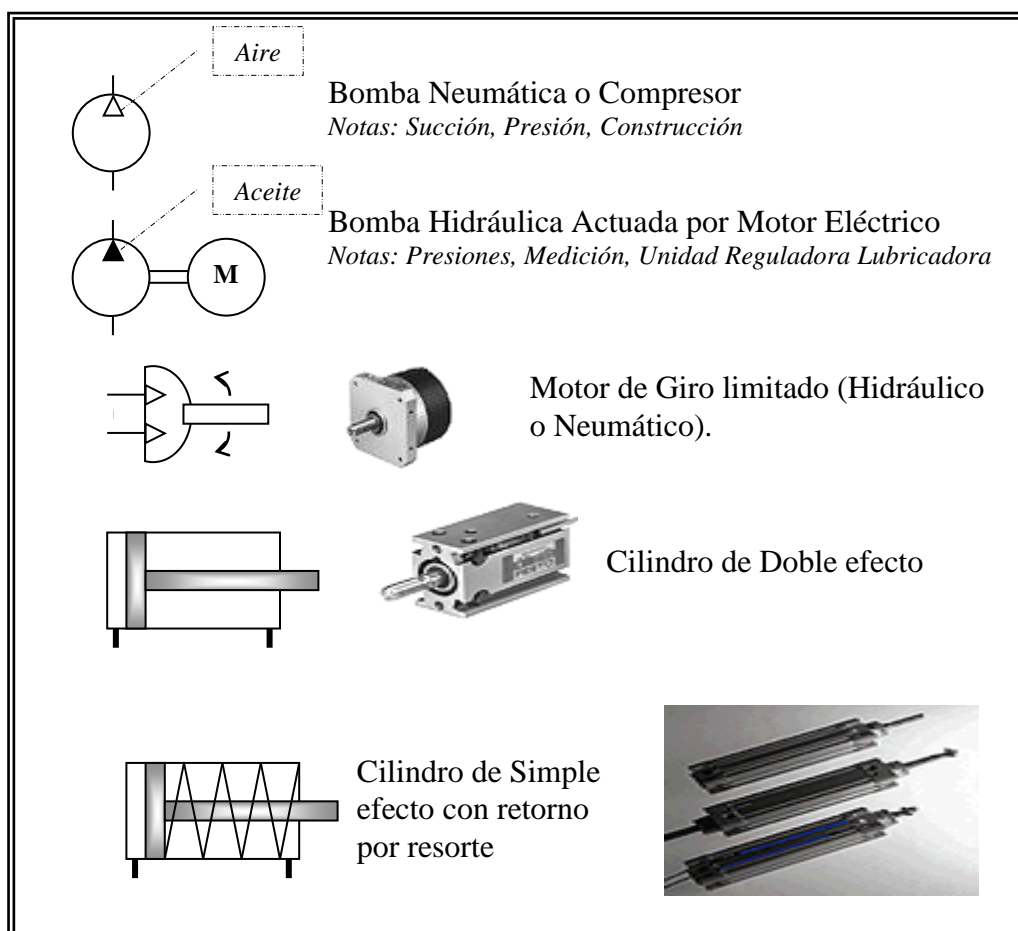
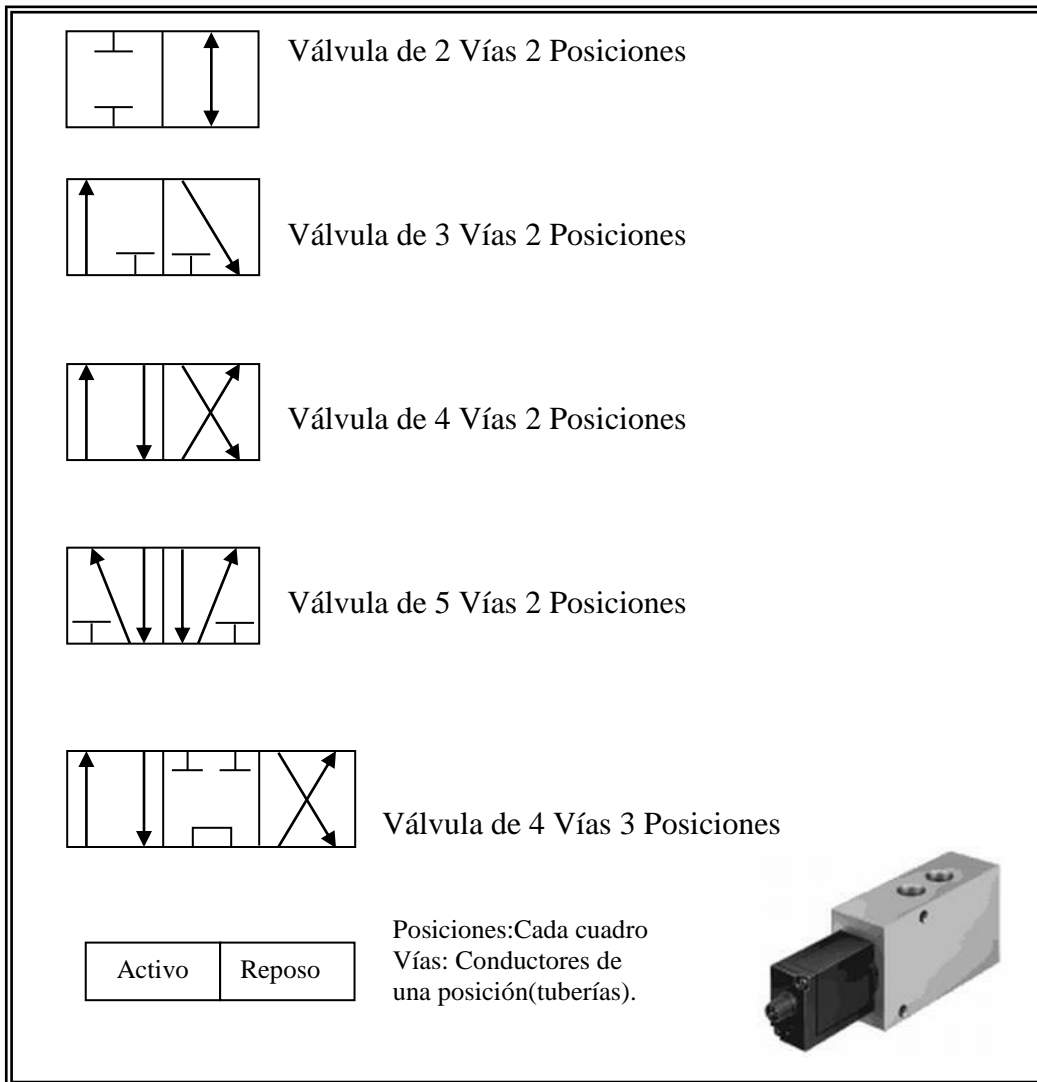


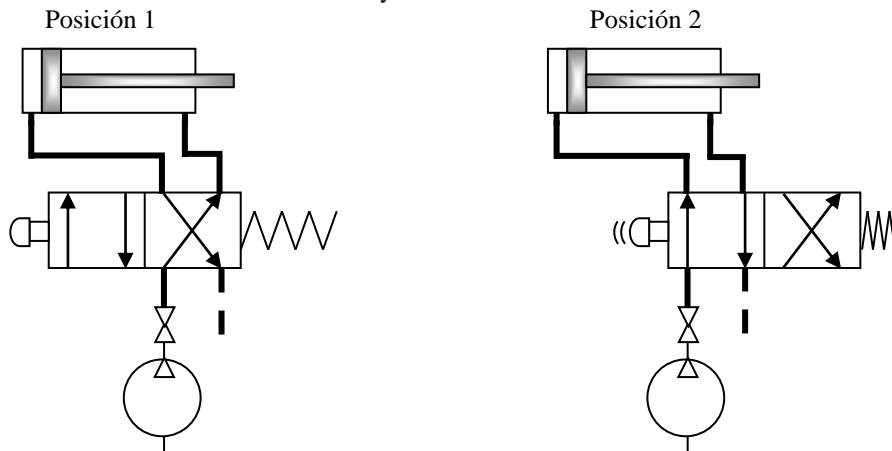
Fig. 2.2 Controladores (Comando y Regulación de Energía)

1) Válvulas Direccionales



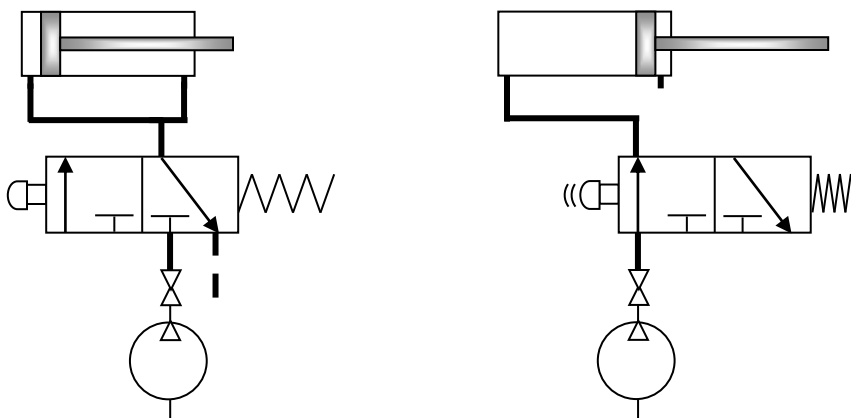
➤ Para nombrar correctamente las válvulas hay que añadir su forma de operación y etiquetar las E/S.

Ejemplo: Mencione los nombres de cada elemento y describa su funcionamiento.

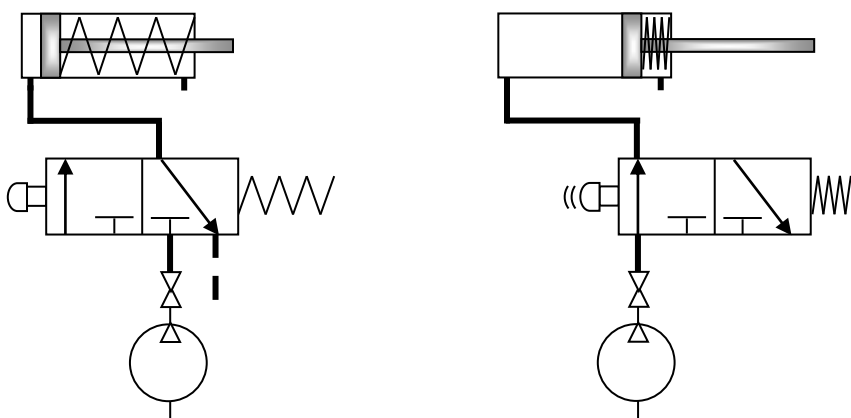


*Ejercicio:*

- 1) Cambie la Válvula 4 vías 2 posiciones por una válvula 3 vías 2 posiciones, activada por un botón y con retorno en el resorte; describa que ocurre.



- 2) Solucioné el problema 1 para que el cilindro opere en forma correcta (sin cambiar la válvula).



- 3) Cambie la válvula por una 2 vías 2 posiciones y describa el funcionamiento.

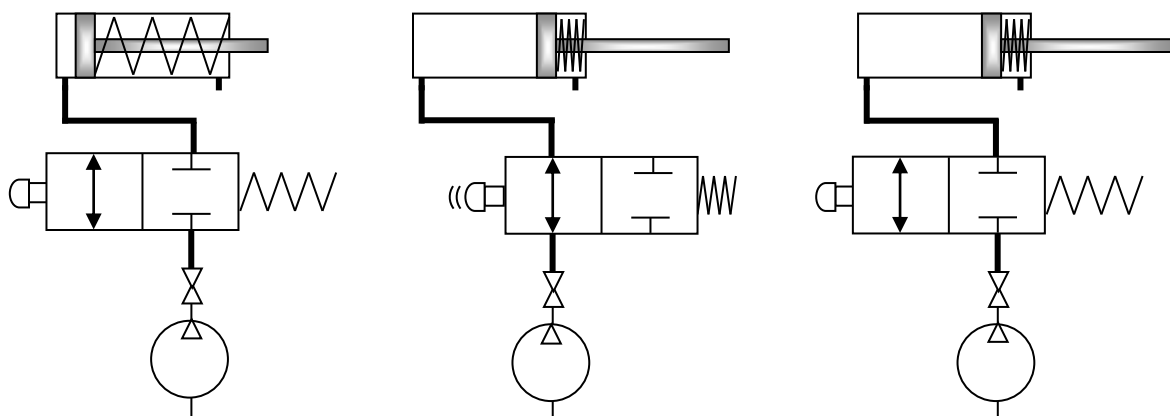
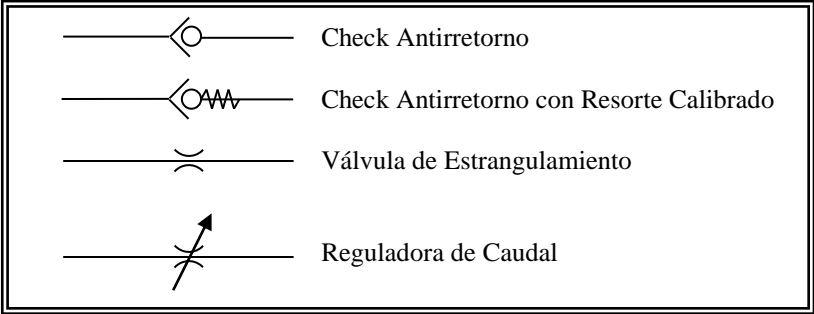


Fig. 2.3 2) Válvulas de Bloqueo



➤ Ver Analogías Eléctricas (Diodo, Transistor, Resistencia y Potenciómetro).

Fig 2.4 3) Combinada

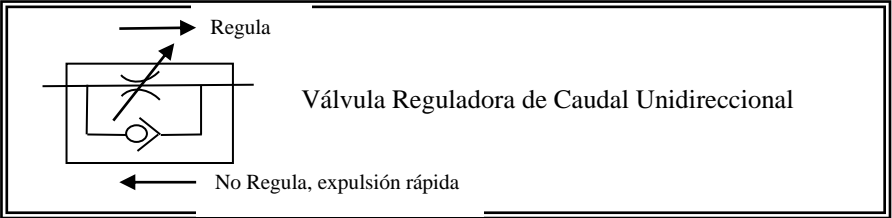


Fig 2.5 4) Válvulas de Cierre

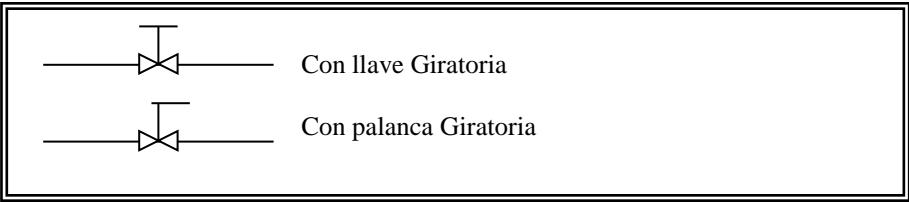
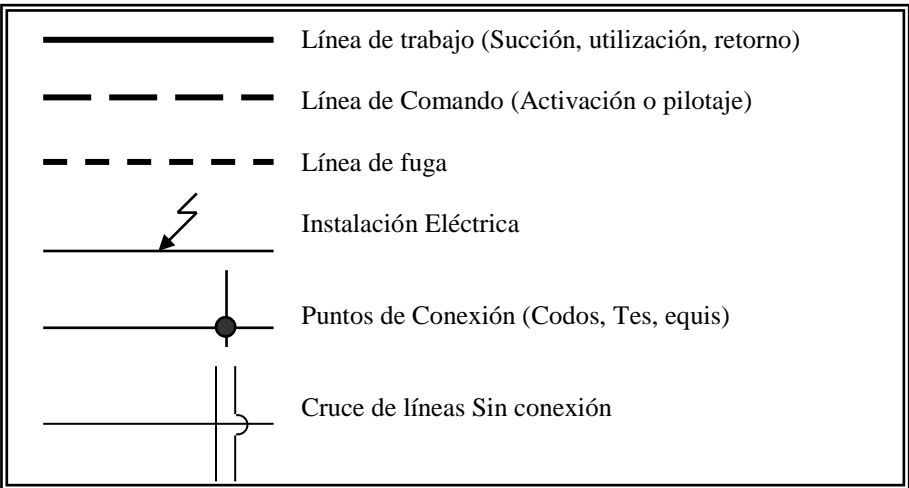


Fig. 2.6 Transmisores de Energía



## Medios de Accionamiento

Fig. 2.7 1) Mecánicos

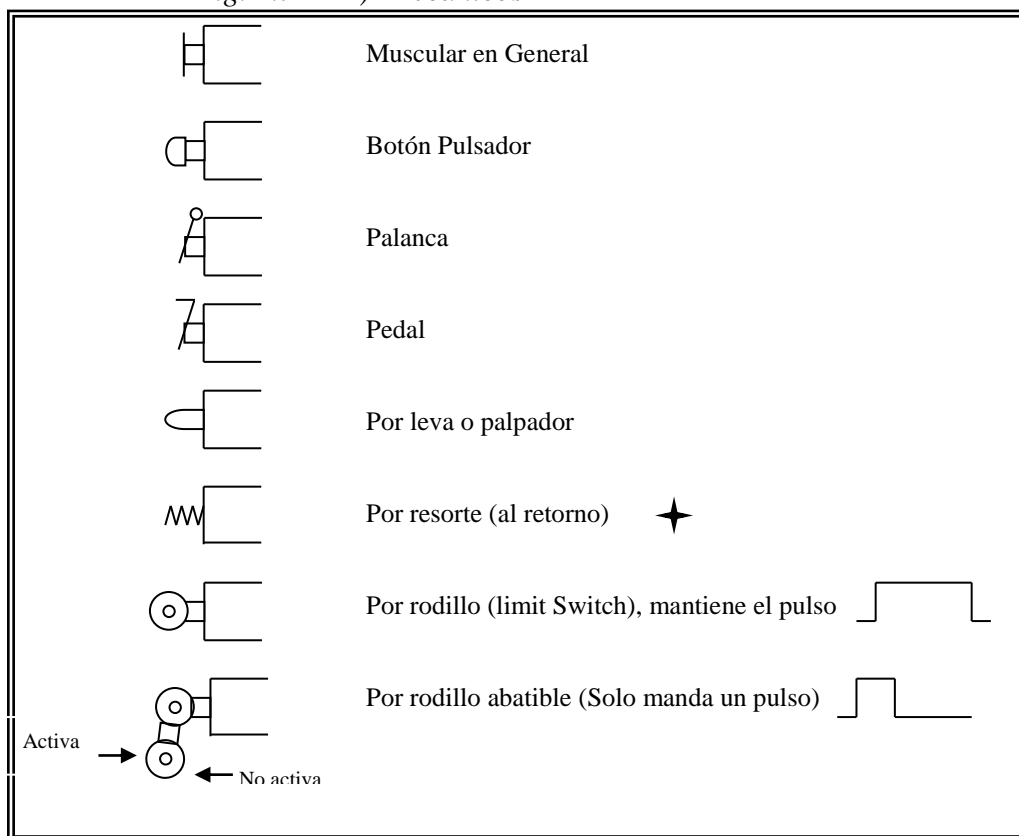


Fig. 2.8 2) Eléctricos

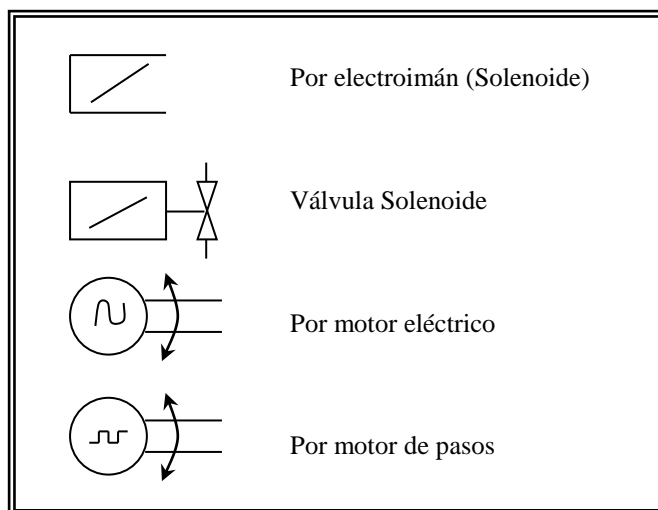


Fig. 2.9 3) Por Presión

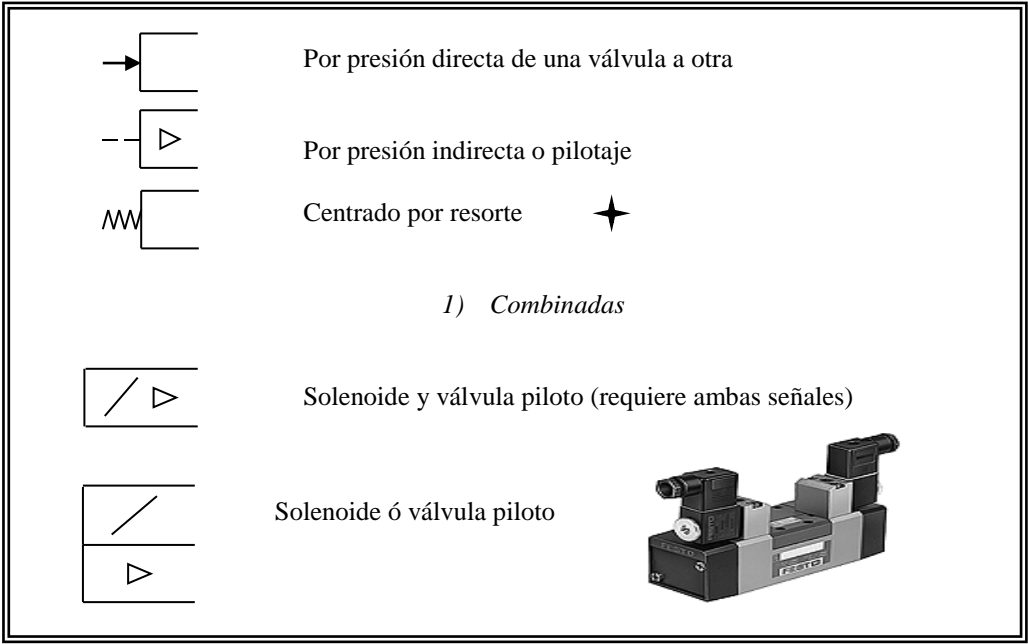


Fig. 2.10 Aparatos de Medición y Sensores

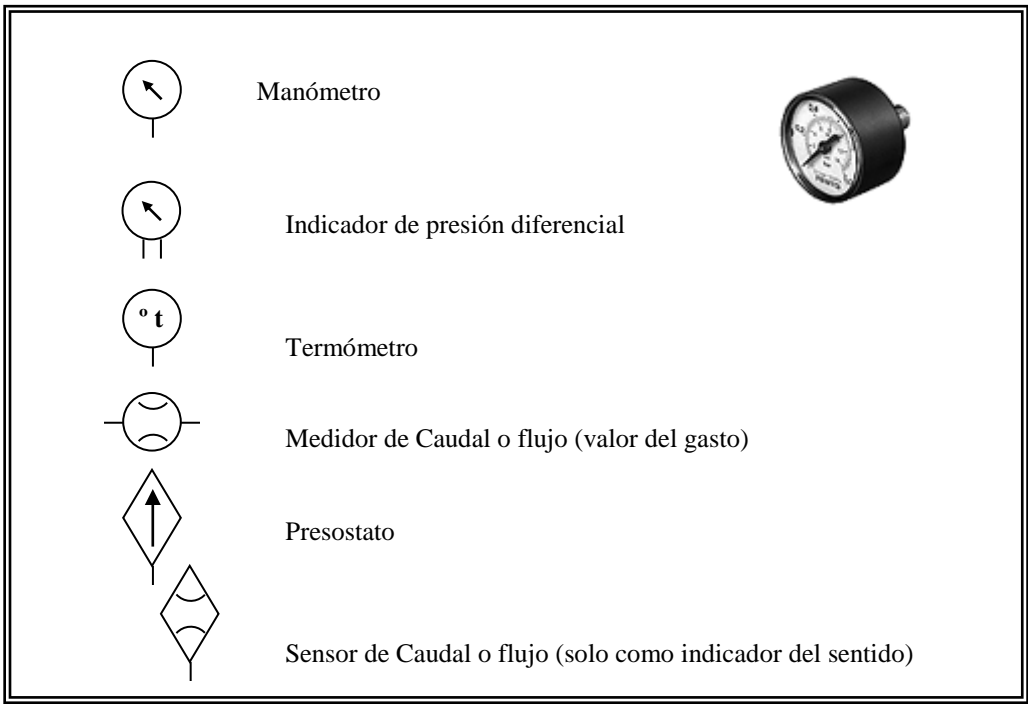


Fig. 2.11 Sensores de Contacto

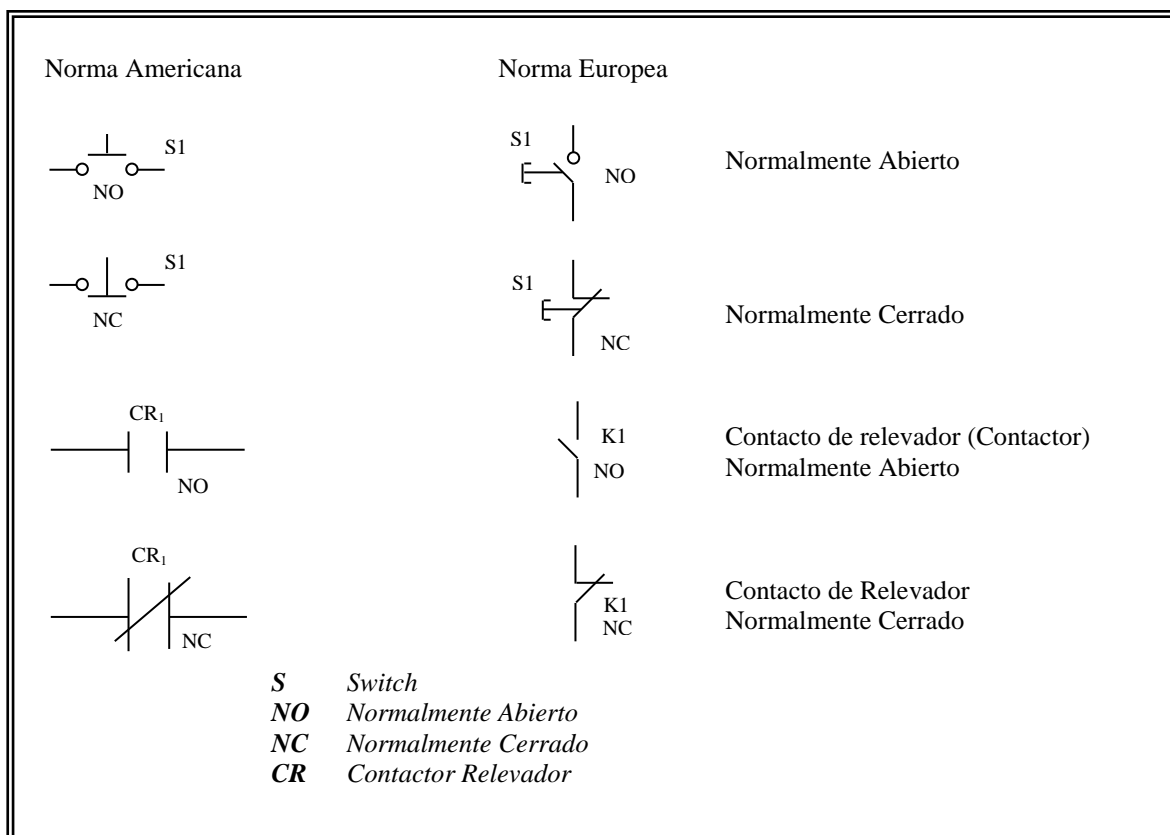
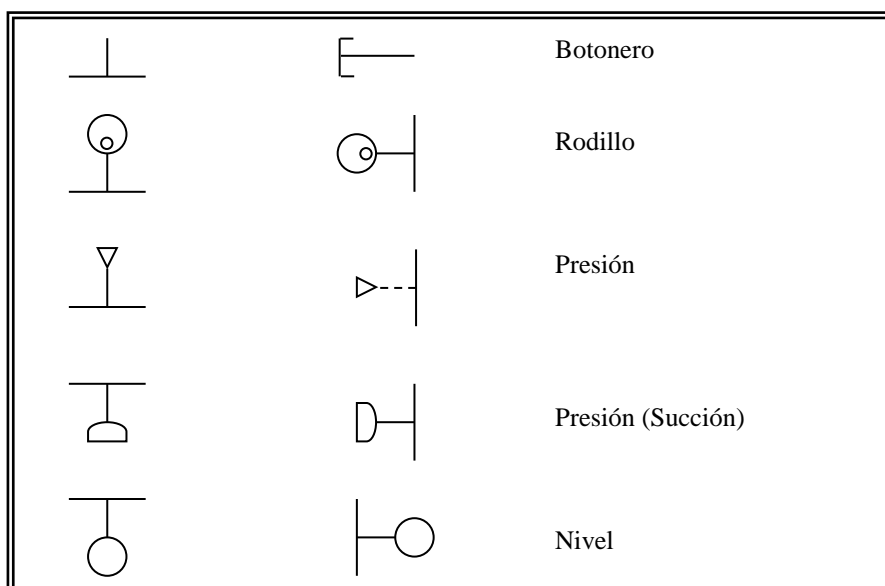


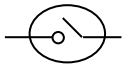
Fig. 2.12 Elementos de contacto o medios de actuación manual



## Sensores sin tacto

Norma Estandarizada

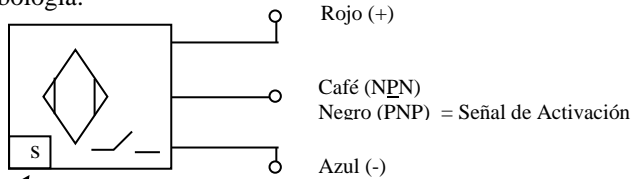
Eléctrico:



Sensor Magnético-eléctrico (Read Switch)

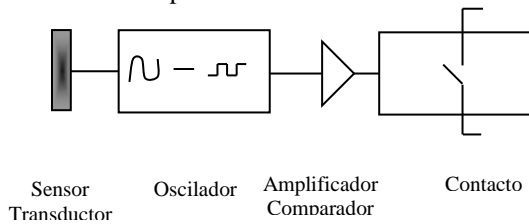
Electrónicos:

Simbología:



Símbolo según el tipo

Son más caros pues constan de:

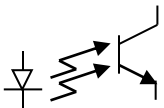


## Símbolos para Sensores Electrónicos



SEI ó SIE

Sensor Inductivo Electrónico (Sensa material ferromagnético)  
Distancia de 2 a 10 cm



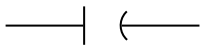
SOE ó SEO

Sensor Óptico Electrónico

Tipos:

a) Por barrera de luz   
Sensor      Lampara  
Distancia Máxima 2 m  
Y en infrarrojo hasta 10 m

b) Retroreflexivo (Reflex)  
Detectan todo excepto en color Negro Mate  
Distancia Máxima de 1 a 5 m



SCE ó SEC

Sensor Capacitivo Electrónico (Detecta todo, puede calibrarse para discriminar ciertos objetos).  
Distancia Máxima de 20 cm



SEA ó SAE  
SSE

Sensor Acústico Electrónico  
Sensor Sónico Electrónico  
Detecta todo, tiene capacidades de 10, 100 Km o más.  
Es de los más caros, utiliza el efecto Doppler en algunos.

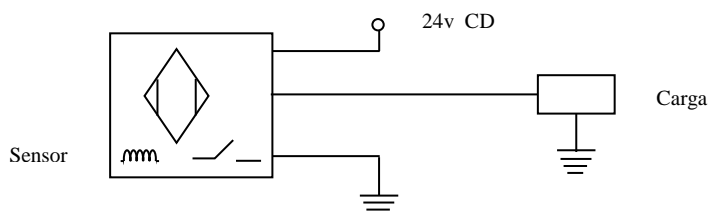


## Nomenclaturas en Diagramas de Escalera (Bloques)

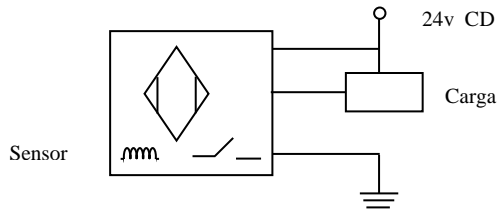
<b>S</b>	Sensor de Contacto (Botoneras)
<b>B</b>	Sensor sin tacto (SOE, SIE, SCE, SME, etc.)
<b>K</b>	Contactos de reelevador
<b>Y</b>	Solenoides

Según la conexión, los sensores pueden ser de 2 tipos:

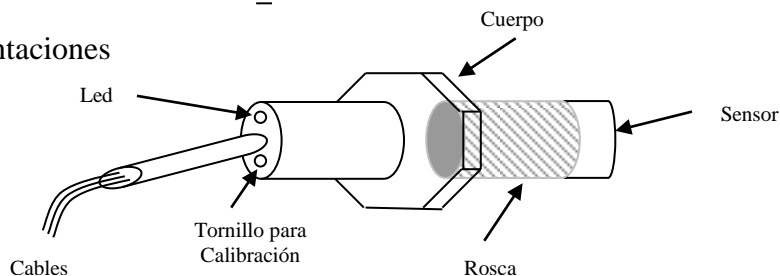
**P N P** (La carga al negativo)



**N P N** (La carga al positivo)



### Presentaciones



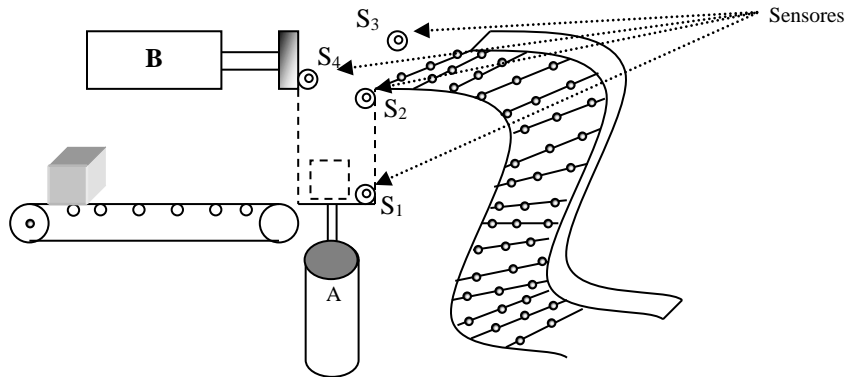
## 2.3. Diagramas esquemáticos de control de procesos secuenciales.

Para facilitar el análisis en Sistemas Secuenciales, se realizan los pasos siguientes:

- 1) Se realiza el diagrama o croquis de situación de la máquina y/o equipo para automatizarlo
- 2) Se plantea el diagrama estado – fase para cada actuador y se consideran los sensores a manejar (Actuadores - Sensores)
- 3) Se analizan fases repetidas para optimizar
- 4) Se realiza el Diagrama de Potencia en Estado Pasivo (sin activarse)
- 5) Se añaden a los actuadores los elementos de sensado y de control, que pueden ser:
  - a) Por Control Directo, como por *Ejemplo*: un Cilindro de Simple Efecto con una Válvula
  - b) Por Control Indirecto, como por *ejemplo*: un Cilindro de doble Efecto con distintas válvulas combinadas
- 6) Se realiza una Simulación

*Ejemplo:*

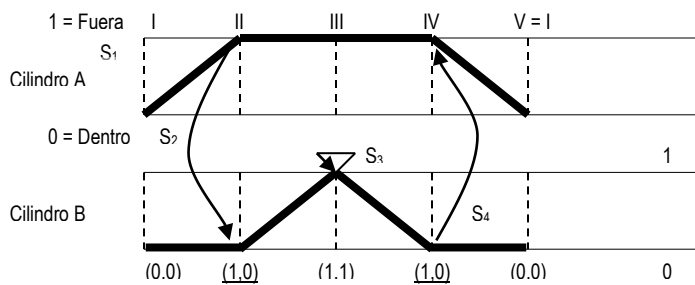
Para una máquina transportadora de cajas.



Realizar la automatización de los cilindros de doble efecto

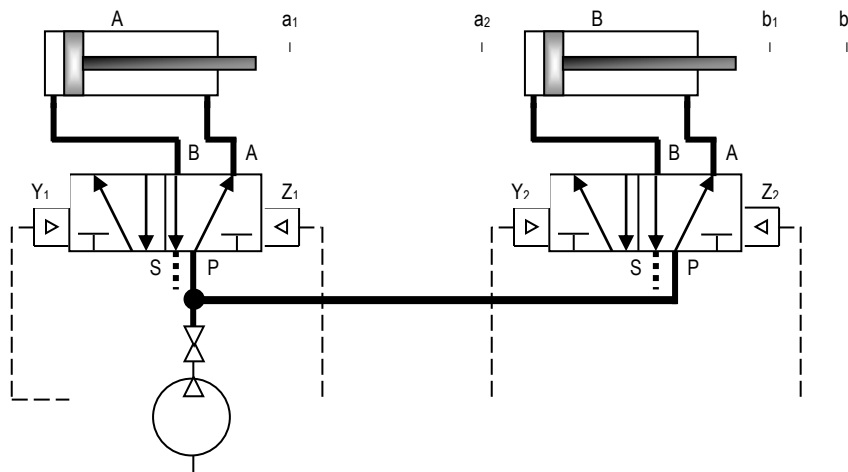
Paso 1. Croquis, ya fue planteado, hay que analizar el funcionamiento y la activación de los sensores.

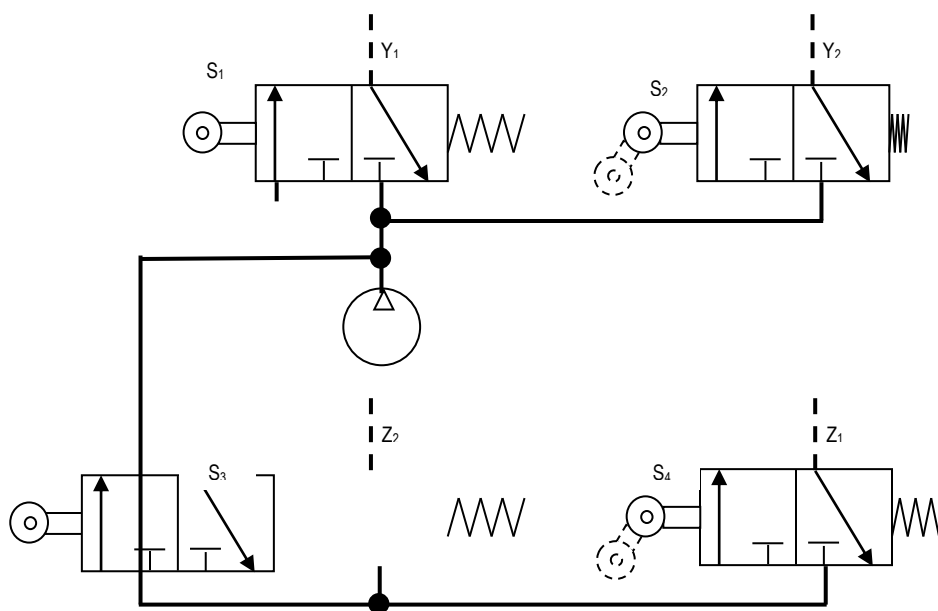
Paso 2. Diagrama Estado – Fase.



Paso 3. Son 4 estados diferentes, se repiten las fases II y IV (como cámara fotográfica de RT).

Paso 4. Diagrama de Potencia.



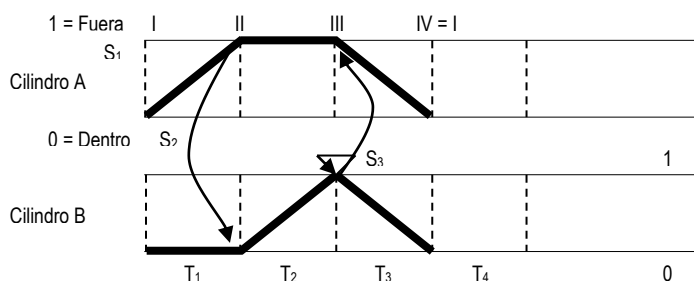
Paso 5.  $S_i = S$ . Contacto

En este sistema existen 2 problemas:

Se atorán  $S_2$  y  $S_4$  ( $S_2$  atorán el retorno de B y  $S_4$  impide el reinicio de A) por lo tanto se ponen abatibles.

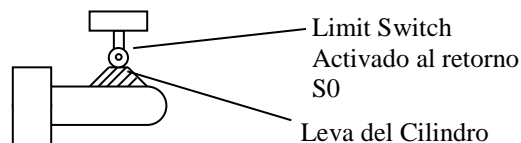
Para optimización, podemos observar que el retorno de B puede generar al mismo tiempo el retorno de A.

Optimizando el Diagrama de Estado – Fase.



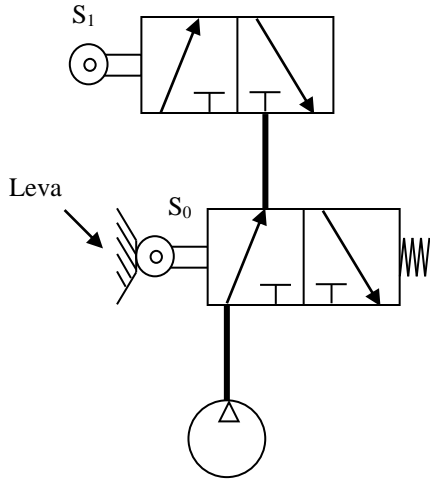
Nos ahorramos un sensor y reducimos el tiempo de operación.

Observación:



Podemos Agregar un  $S_0$  en Serie con  $S_1$ .

**Sistema de Protección:**



Con  $S_0$  nos aseguramos que no reinicie el ciclo cuando se encuentren los cilindros en una fase intermedia.

**Ejercicio:**

Se desea controlar la apertura y cierre de una puerta con 2 botones que accionan el cilindro de potencia.

- a) Realizarlo Neumático
- b) Realizarlo Híbrido (Accionamiento Eléctrico)

**Solución:**

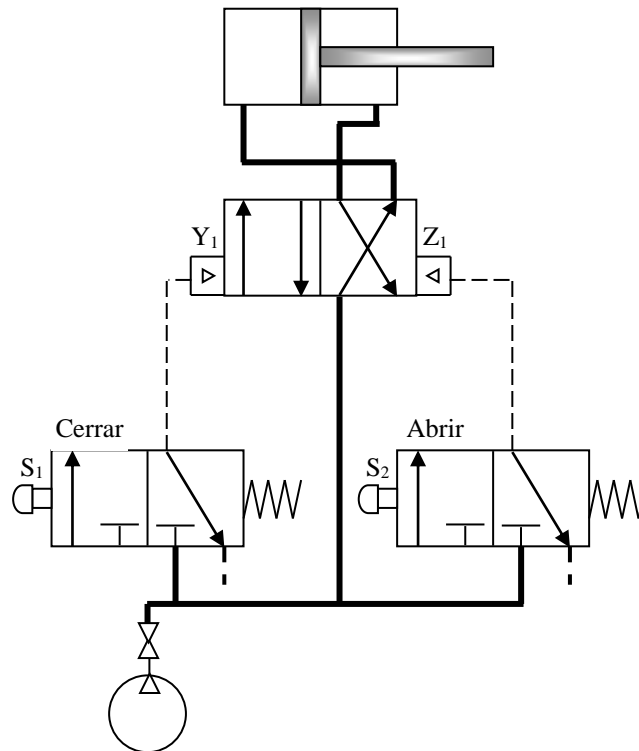
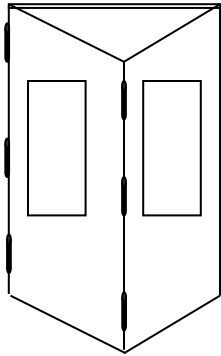
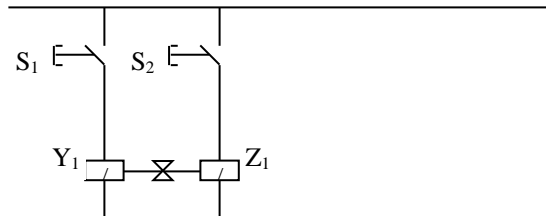


Diagrama Eléctrico, se sustituye la válvula en la parte del pilotaje neumático por un pilotaje eléctrico con solenoides, nombrándolos Y1 y Y2 y cuya representación es:



## 2.4. Diagramas en escalera y programación.

Una forma de manejar los diagramas eléctricos de control es mediante los diagramas en escalera. Para entenderlos primero analizamos las funciones lógicas:

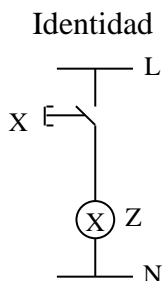


Tabla de Verdad

X	Z
0	0
1	1

0 = No Accionado  
1 = Accionado

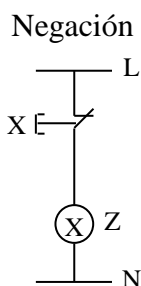
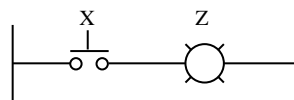


Tabla de Verdad

X	Z
0	1
1	0

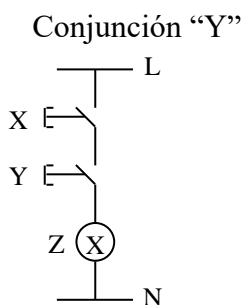
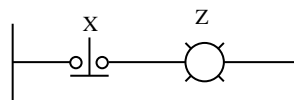


Tabla de Verdad

X	Y	Z
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

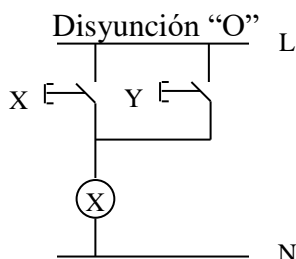
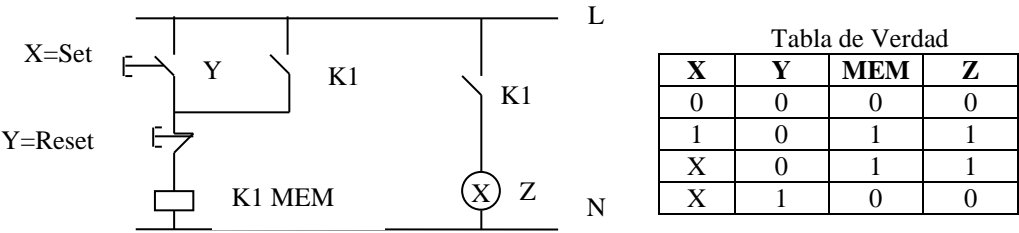


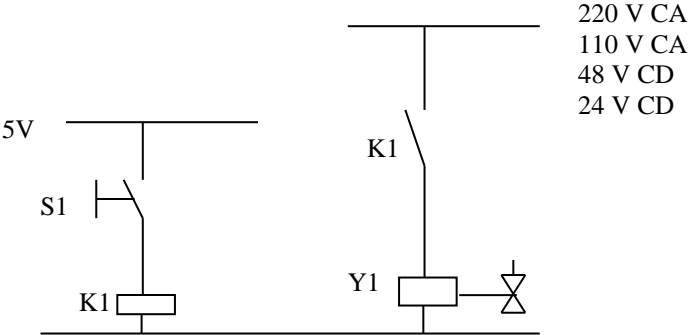
Tabla de Verdad

X	Y	Z
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

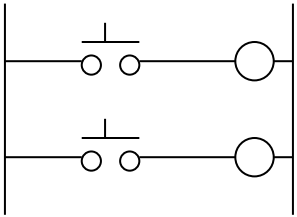
Circuito con Memoria (Arranque-Paro)



Control Indirecto



Control Directo



Problema:

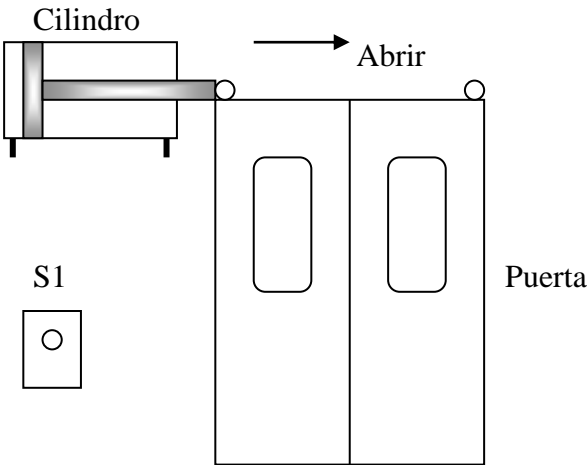
Controlar la apertura y cierre de una puerta con un solo botón. Considere que la parte de potencia será controlada por una válvula con activación por solenoides. La secuencia de funcionamiento es:

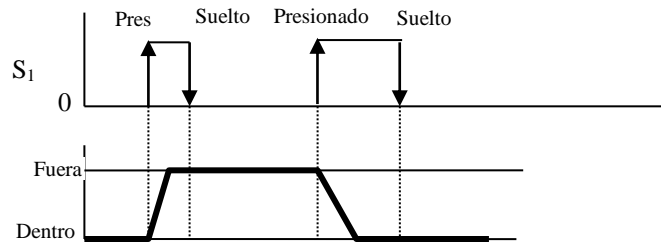
- 1) Se presiona el botón y la puerta se abre.
- 2) Se suelta el botón y permanece abierta.
- 3) Se presiona nuevamente y la puerta se cierra.
- 4) Se suelta el botón y queda cerrada, lista para el nuevo ciclo.

**Solución:**

Usando sólo el método intuitivo

Croquis:





## DIAGRAMA DE POTENCIA

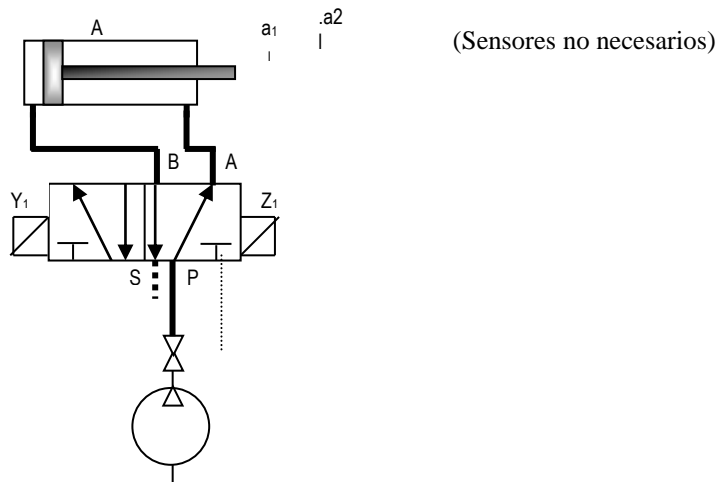
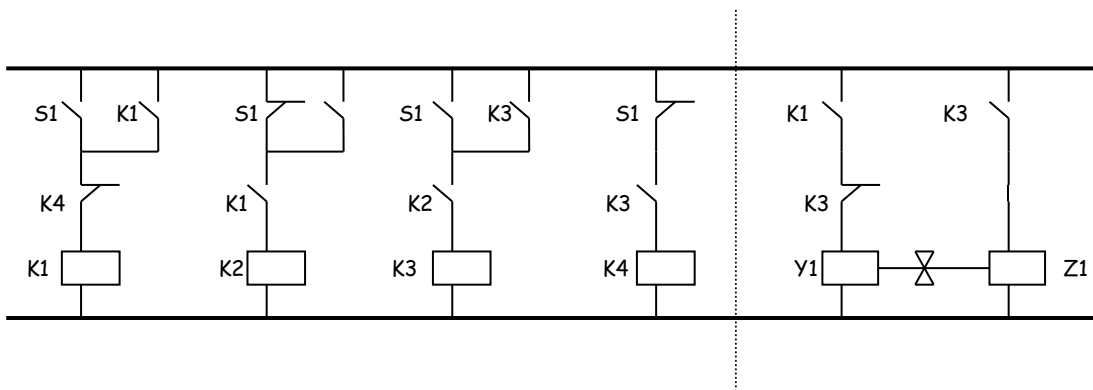


Diagrama de escalera para la solución del problema de la puerta con un solo botón.

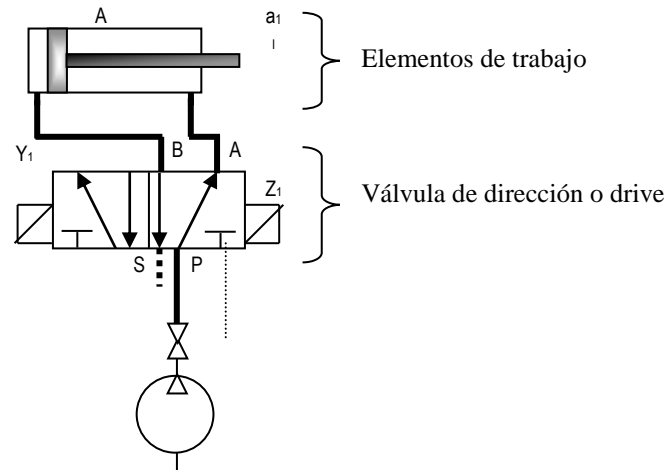


## 2.5 Metodología de diseño .

Metodo paso a paso estructurado

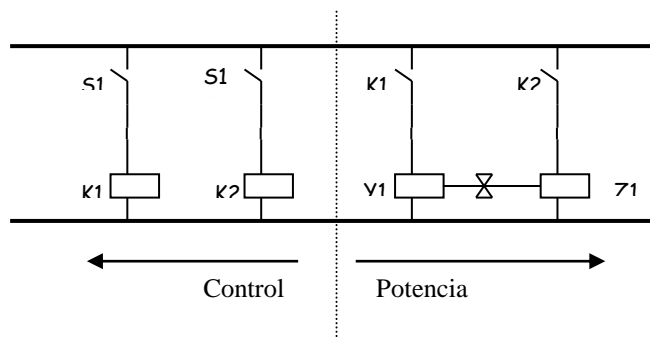
1 .- Separamos la parte de potencia de la parte de control:

a) Neumático o hidráulico o Electrico

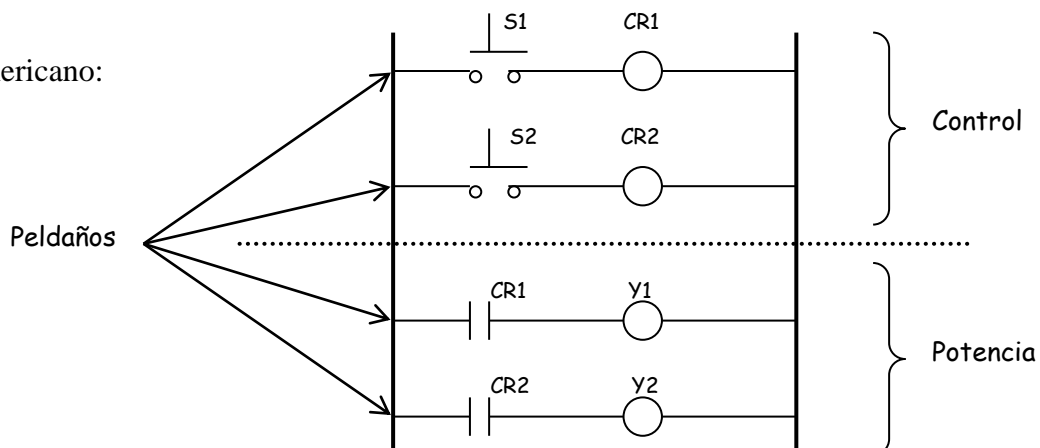


b) Circuito de control (Directo / ind).

Sistema europeo:



Sistema americano:





II.- Del diagrama de estado – fase y de la forma de activar la secuencia se analiza.

- Número de fases = Número de peldaños de control.
- Cada peldaño de control es activado por un sensor de acuerdo a la secuencia.
- Los primeros peldaños tienen memoria, menos el último. (el último mata a todos).

III.- Se realizan los tres pasos del método:

- Se activa un sensor y se memoriza ese peldaño.
- Prepara el peldaño siguiente.
- Se efectúa movimiento de trabajo.

Ejemplo:

Se desea automatizar una remachadora neumática, realice el diseño de la parte de control eléctrica y aplique el método paso a paso estructurado.

Croquis de situación:

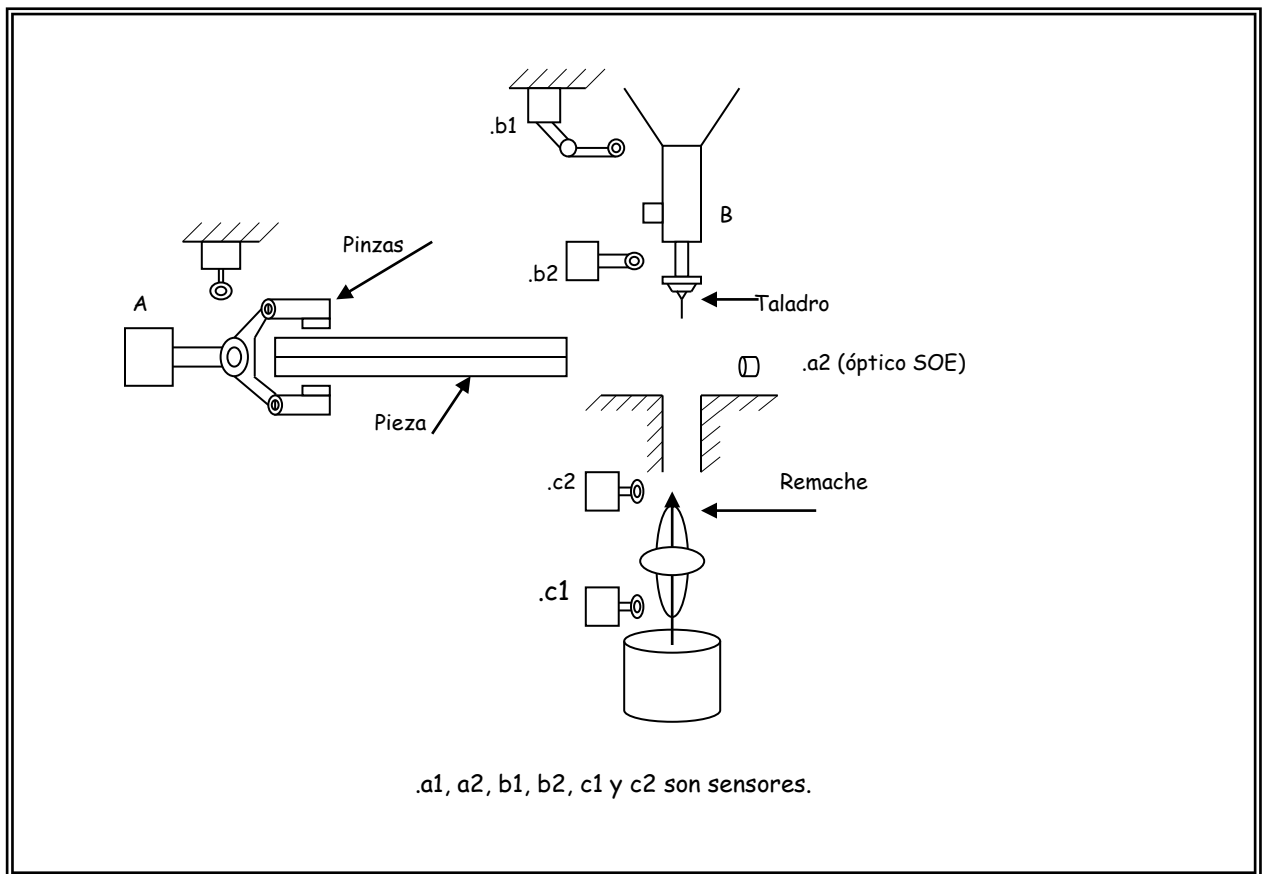
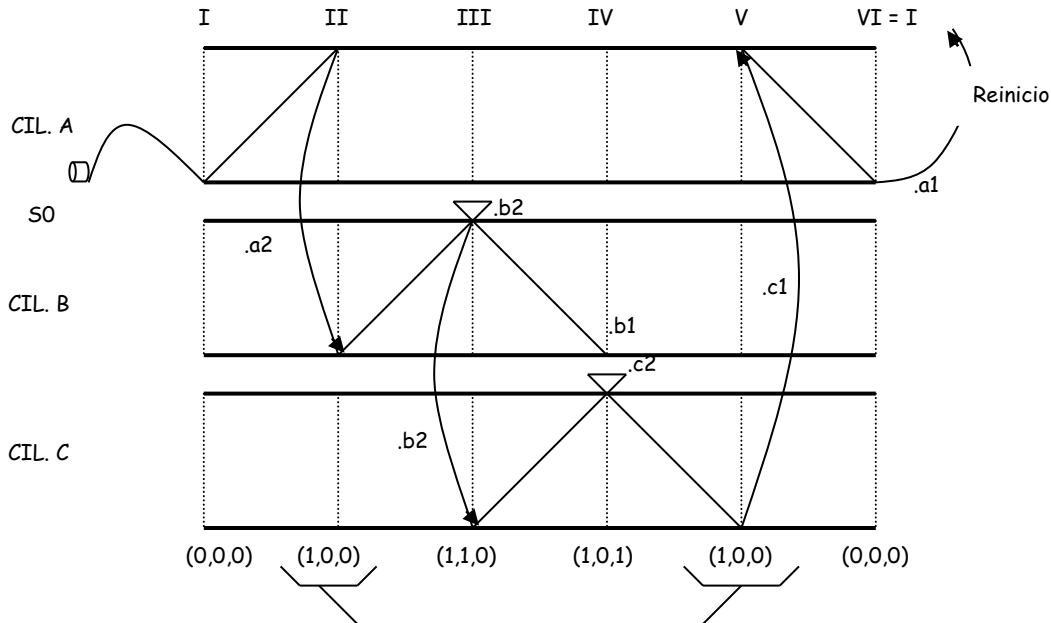


Fig 2.13 Máquina de secuencia fija : Remachadora neumática

Solución:

Diagrama Estado – Fase:



Nota: Se repiten II y V: a2 y c1 son abatibles.

Siguiendo la metodología: Diagrama de potencia neumática.

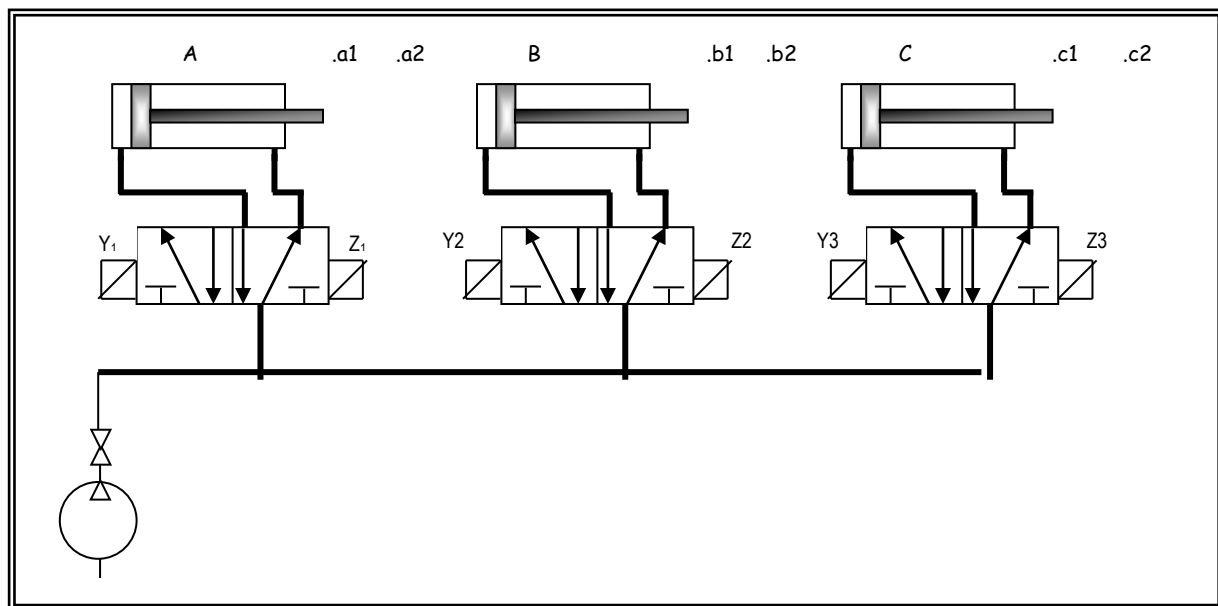
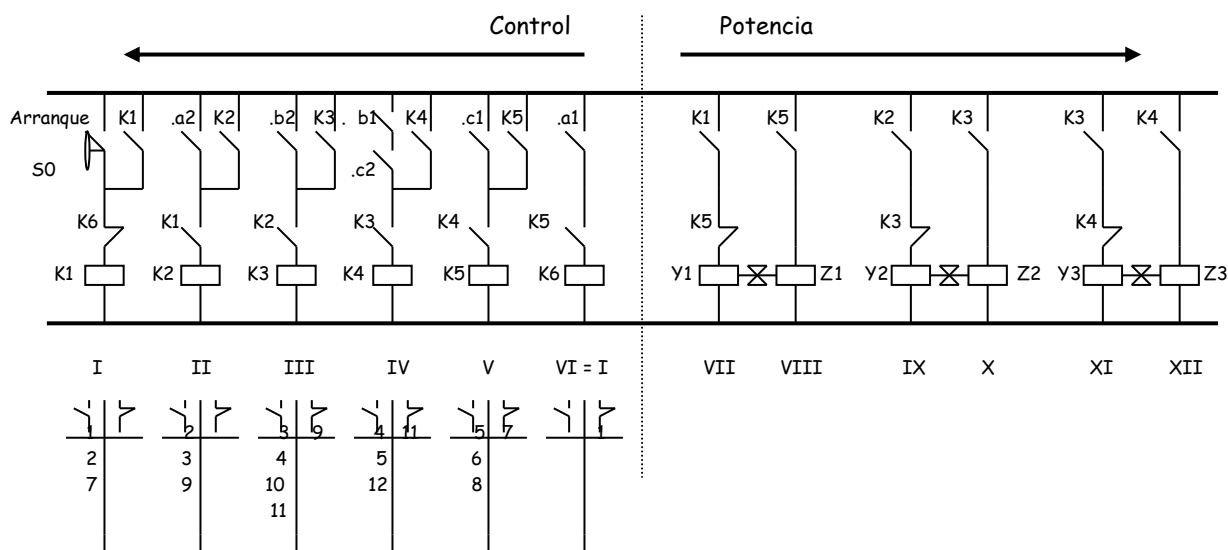


Fig 2.14 Diagrama de potencia con 3 cilindros y 3 válvulas de control 5/2

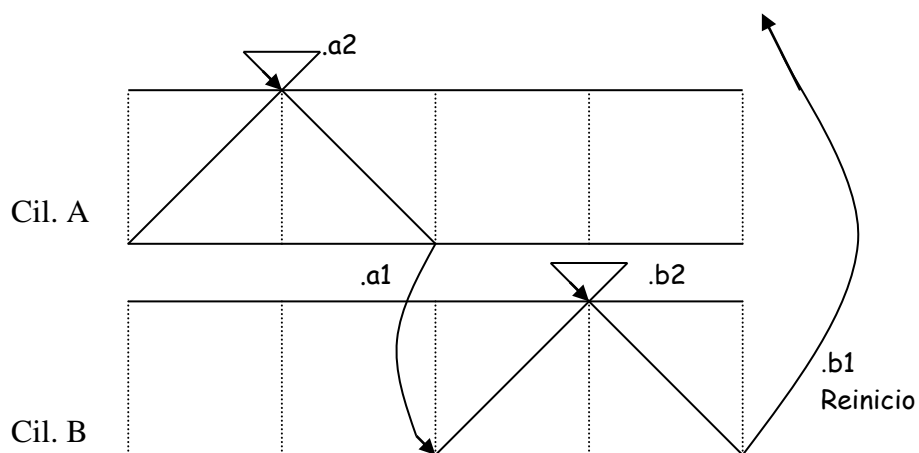
Fig. 2.15 Diagrama de escalera (Norma Europea)



Puede representarse también en el diagrama de escalera en forma americana.

Ejercicio:

Se requiere automatizar un sistema de cilindros neumáticos con el siguiente diagrama estado – fase:



## 2.6 Controladores Logicos Programables (PLC's).

Características:

- 1) Protección
  - a) protección de I / O.
  - b) Variación de voltaje.
  - c) Polaridad inversa.
- 2) Capacidad
  - a) En las I / O.
  - b) En las señales analógicas.
  - c) En las señales digitales.
  - d) Salidas por transistor (20 a 500 microA)
  - e) Salidas por relevador 2 A c / u.
- 3) Potencia  
En cuanto a  $v * i$  dependerá del tipo de PLC.
- 4) Tamaño  
Reducido y fácil de instalar comparado con el número de entradas y salidas.
- 5) Libre de mantenimiento a excepción de la pila.
- 6) Estabilidad en cuanto a modelo. (ejemplo: 386, 486, pentium ...)

Ejemplos:

FESTO PLC 202C

Siemens Simatic S5, 57 – 300

FOXBORO

Allen Bradley

Mitsubishi

Texas.

Ejemplo práctico: PLC FESTO 202 C

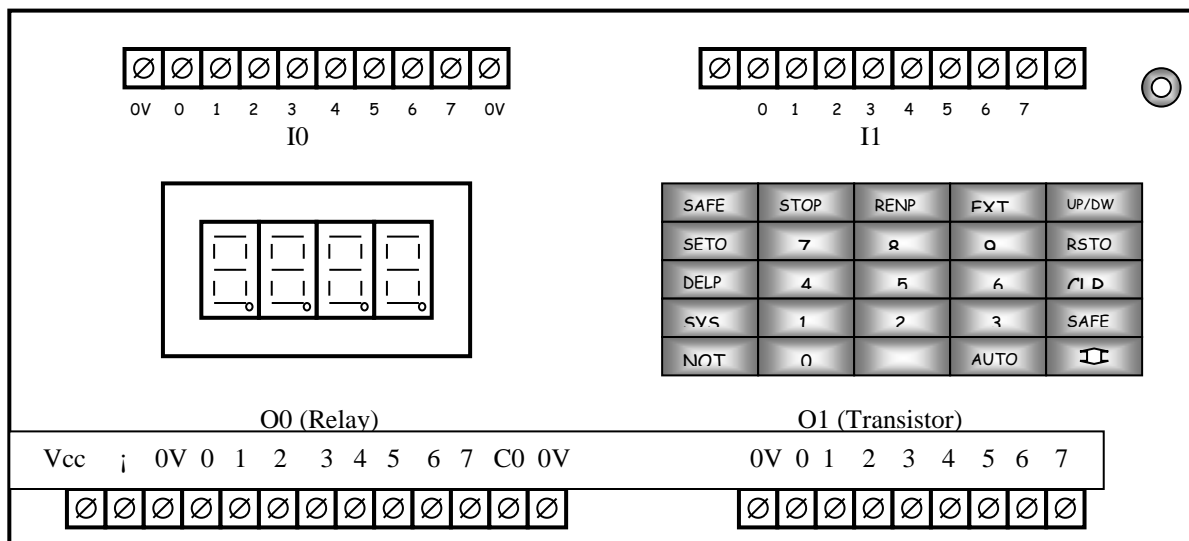


Fig. 2.16 Controlador Lógico programable de FESTO , vista frontal.

## Descripción de una sección del teclado:



Para correr programas



Para detener la ejecución de un programa



Renumerar o combinar el número de programa



Establece la velocidad del puerto

	Señal
1	1600
2	2400
3	3600
4	4200
5	.
6	6000
.	.
9	9600 (más común)



Se establece el modo AUTO - RUN al encenderse

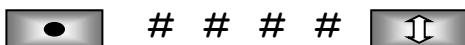


Deshabilita lo anterior



- a) Separa un Bit para E / S
- b) Protege por password

Ejemplo:



Cuidado: se desactiva al quitar la pila a los 60 segundos pero se pierden programas



Toda una serie de salida la fuerza a cero



Reinicializa todo, incluso contadores



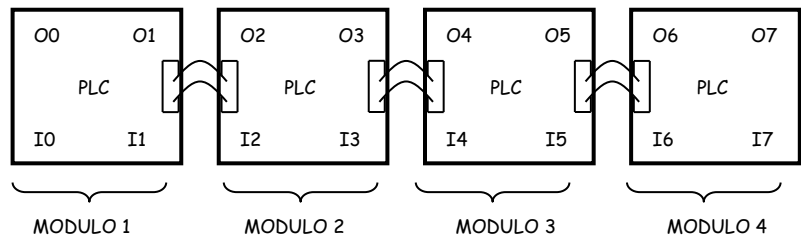
Fuerza una salida a uno.



Fuerza una salida a cero.

Unión de Módulos en un PLC

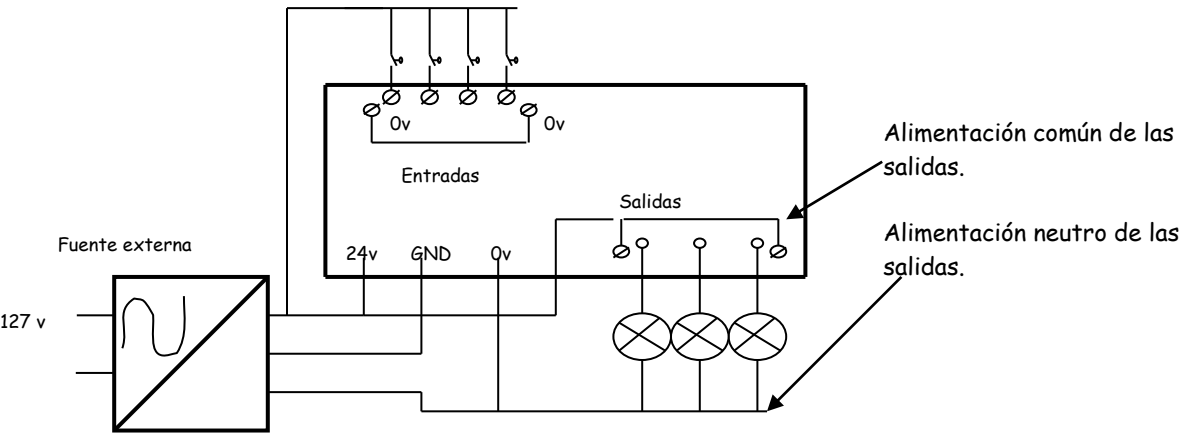
Para el FESTO 202 C



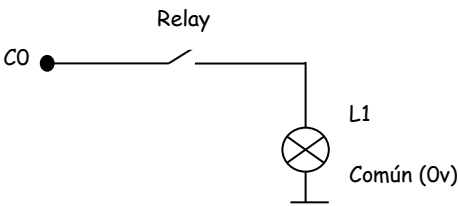
Si se quiere forzar una salida en 6.2:



Forma de conectar un PLC:



En los Relay's máximo 2 Amperes en cada salida. El común C0 alimenta las salidas



### 2.6.1 Metodología de proyecto con PLC's (FESTO 202C)

#### PASOS:

- 1) Se nombra al proyecto.
- 2) Se describe el funcionamiento (Qué?, Cómo?, Cuándo?, Dónde?, Por qué?)
- 3) Croquis de situación,
- 4) Lista de asignación
 

{	Operando absoluto.	= I 0.0
	Operando simbólico.	= O 0.0
	Comentario.	= Interruptor.
- 5) Establecer la logica del programa: (Comienza diagrama estado – fase, eléctrico)
 

a) Logica combinacional	{	Tablas de verdad Diagrama en escalera Método paso a paso estructurado AWL o Statment List.
b) Lógica Secuencial	{	Diagrama en escalera (KOP) Método Secuencial Intuitivo Método Estructurado. Método paso a paso mínimo. Método paso a paso máximo. Método bandera.
- 6) Se conectan en base a la lista de asignación los sensores y actuadores. (En HW)
- 7) Se elabora el programa en la computadora de acuerdo al paso 5.

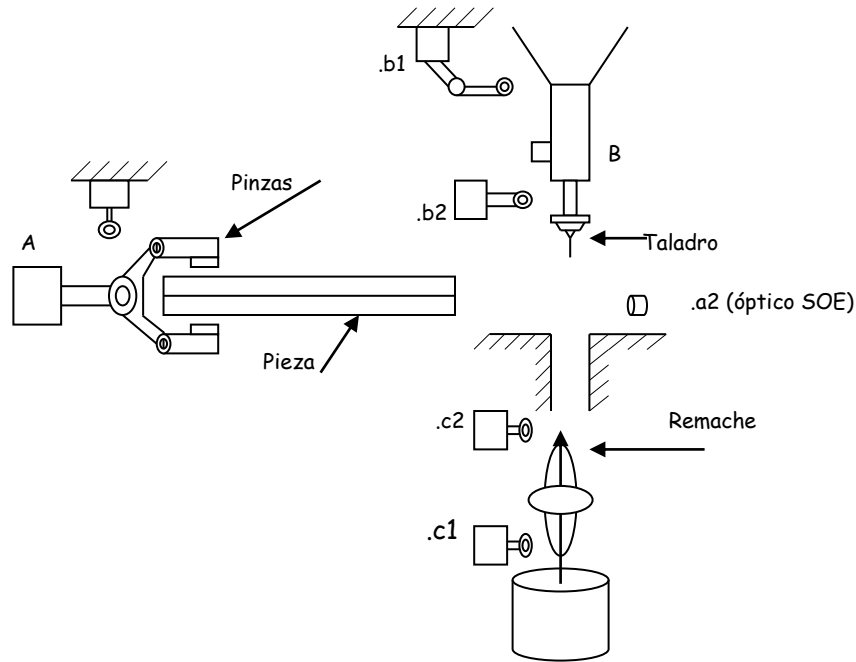
Para el FESTO existen dos opciones:

- a) KOP
  - b) AWL (lista de programa)
- 8) Se carga el PLC con el programa (por el COM).
  - 9) Se corre el programa, estableciendo la comunicación con:
    - a) Programa (On Line Mode) (es simulación)
    - b) PLC (FPC On Line Mode)
  - 10) Cotización (Costo componentes + 10%).



Ejemplo: Para la automatización de la remachadora, incluya un PLC, realice su lista de asignación, su programación y conexión.

Solución:  
Los pasos 1°. Y 2°. Se hacen en la computadora.  
3er. Paso : Croquis de situación.



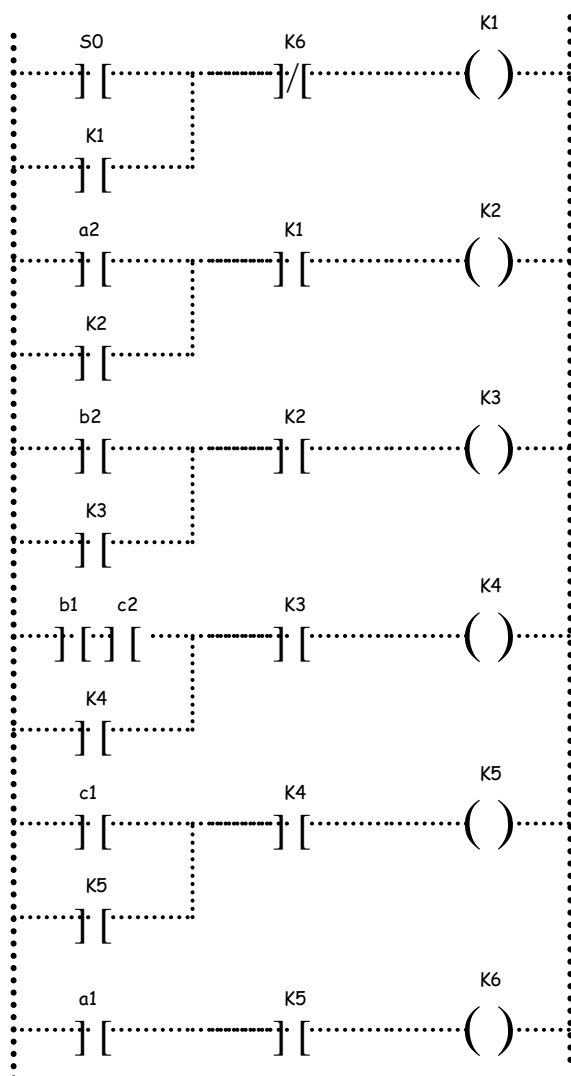
4º. Paso: Lista de asignación:

OPERANDO ABSOLUTO	OPERANDO SIMBOLICO	COMENTARIOS
Entradas {	I 0.0	S0
	I 0.1	a2
	I 0.2	b2
	I 0.3	c2
	I 0.4	c1
	I 0.5	b1
	I 0.6	a1
Salidas {	O 0.0	Y1
	O 0.1	Y2
	O 0.2	Y3
	O 0.3	Y4
	O 0.4	Y5
	O 0.5	Y6
Relevadores {	F 0.0	K1
	F 0.1	K2
	F 0.2	K3
	F 0.3	K4
	F 0.4	K5
	F 0.5	K6

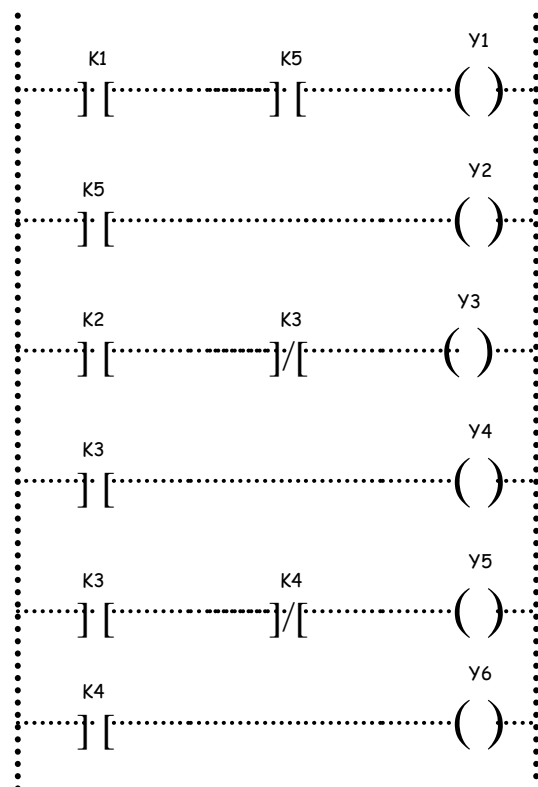


5º Paso: Se establece la lógica del programa (diagrama escalera) en el editor de PLC.

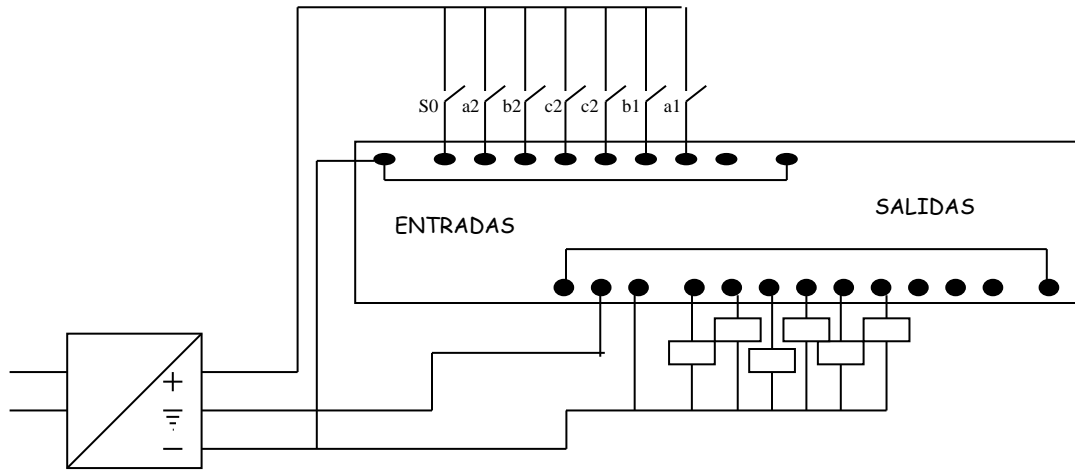
### PARTE DE CONTROL



### PARTE DE POTENCIA



6º Paso: Conexión según lista de asignación.



Los pasos 7, 8 y 9 se realizan también en la computadora.

Paso 10: Cotización.

Ejemplo de costos del MATERIAL:

Cilindros	\$ 8000.00	
Sensores	\$ 500.00	
Servoválvulas	\$ 800.00	
Conexión	\$ 1000.00	
Fuente		\$ 3000.00
PLC		\$20,000.00
DISEÑO	10% a 20% sobre el costo del material.	
MANO DE OBRA	15% a 20% sobre el costo del material.	

Se cubre el primer pago del 40% al 50 % y debe cubrir 100% del costo del material.

TIEMPO DE ENTREGA:

5 a 7 semanas.

Pago del resto conforme avance la instalación.

**Ejercicio de Tarea: Diseñe el control para el movimiento de:**

a) Una pata de robot con movimiento tipo mamífero.. Hint: Utilice un cilindro y la estructura tipo pantógrafo

b) Una pata de un robot insectoide hexápodo, Hint: Utilice 2 cilindros y estructura tipo pantógrafo por pata. (Ver imagen siguiente)

## **2.7 Algunos Tips para la programación del PLC se dan a continuación:**

Debe de correr el programa de FESTO que se debe encontrar en el subdirectorio FSTFEC. Esto se hace escribiendo en el subdirectorio: C/FSTFEC>FSTFEC <ENTER> (Los programas están disponibles en la red en FESTO USA. Freeware).

Al aparecer la presentación debe darse cualquier tecla para continuar. Si es la primera vez que se utiliza el programa va a pedir el subdirectorio FESTO para manejo de algunos archivos. Este subdirectorio deberá de crearse en la unidad C. Una vez que se le dan los datos se presiona F8 para guardar y salir.

Al correr nuevamente FSTFEC, después de la presentación aparece un Menú con las siguientes opciones:

[Ladder Diagram] [Statement List] [Utilities] [Project management] Las cuales pueden seleccionarse con las teclas de las funciones.

Para iniciar un proyecto debe seleccionarse el menú [Project management] en la opción Create Project. En esta sección se asigna un nombre al proyecto y si se desea se dá un comentario. Al final se confirma el proyecto .

El siguiente paso es generar la lista de asignación de localidades en el menú [Utilities] , con la opción Allocation list. Ahí se designan los operadores absolutos y simbólicos, comenzando con las salidas, luego con las entradas y al final con las banderas.

Al concluir la lista de asignación se presiona F8 para guardar y salir.

Para comenzar la programación se debe seleccionar en qué forma de programación debe hacerse: En diagrama de escalera KOP ( Ladder Editor) ó en lista de instrucciones AWL ( Statement List STL).

La edición del programa es auxiliada por las teclas de funciones, en las cuales se tienen los operandos más comunes. En el caso de la programación en escalera se cuentan con operaciones de inserción de interruptores ó contactores ] [ también se cuentan con operaciones de peldaño (rung operat.) para poder realizar operaciones como conectar contactos en paralelo. Existe la manera de realizar la copia de un peldaño mediante las operaciones de bloque (block operat.). Además se cuentan con elementos como temporizadores y contadores.

Una vez que concluye con la programación, debe grabar y salir del editor. En el menú de [Ladder Diagram] debe seleccionar la opción de prueba de sintáxis (syntax test). Si o hay errores se debe mandar el programa de la computadora al PLC, para esto el PLC debe estar prendido, con el cable de comunicación serial conectado entre el PLC (COM) y la PC (COM1). Además debe estar en el modo STOP (vea el manual de instalación y los parámetros de velocidad de comunicación en la opción Configuration (IPC MODE) del menú [Utilities]). Seleccione la opción de cargar programa al PLC (Load Project). Cambie del modo STOP al modo RUN en el PLC. Para ver en forma simultánea la operación del PLC y la simulación en la computadora seleccione del menú la opción LDR on line display. Seleccione F4 para mostrar la simulación en pantalla y establezca una velocidad de operación. Puede desplazarse con las flechas para visualizar las diferentes operaciones de cada peldaño. Si existe algún problema de comunicación cheque el manual de operación del PLC. Una vez que se realizaron las pruebas, puede detenerse el modo de simulación en pantalla, posteriormente puede desconectar la PC del PLC y el programa debe ser grabado en la PC. En el PLC el programa queda residente, mientras no se apague.

Para realizar diversas formas de programación y utilizar todo el PLC a detalle, (Lista de instrucciones, manejo de operaciones preset-reset, manejo de contadores, manejo de tiempos de encendidos y apagados, timers etc.) consulte los manuales de operación del PLC.

A continuación se comienza el estudio de los movimientos de Robots, en los cuales también intervienen los PLC como parte del control de los elementos de potencia.