



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO DE DOBLADO Y PERFORADO POR MEDIO DE NEUMÁTICA, ELECTRONEUMÁTICA Y PLC's”



## T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA  
P R E S E N T A N:  
HÉCTOR RICARDO ~~HERNÁNDEZ VEGA~~  
JOSÉ ALEJANDRO REYES RAMÍREZ

ASESOR: M.I. JOSÉ GUADALUPE ALFONSO RAMOS ANASTASIO  
CO ASESOR: ING. ENRIQUE CORTÉS GONZÁLEZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO

2002

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



REPUBLICA NACIONAL DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES
CUAUTITLAN



DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
Jefe del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Automatización de un Proceso de Doblado y Perforado por Medio de Neumática, Electroneumática y PLC's"

que presenta el pasante: Héctor Ricardo Hernández Vega
con número de cuenta: 8833898-9 para obtener el título de :
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuatitlán Izcalli, Méx. a 21 de Junio de 2002

- PRESIDENTE M.I. José Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio
VOCAL Ing. Daniel Hernández Pecina
SECRETARIO Ing. Julio Moisés Sánchez Barrera
PRIMER SUPLENTE Ing. Angel Martínez Jiménez
SEGUNDO SUPLENTE Ing. Héctor Hernández Guzmán

Handwritten signatures and stamps of the voting members.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE  
EXÁMENES PROFESIONALES

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO  
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN  
P R E S E N T E

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefe del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Automatización de un Proceso de Doblado y Perforado por Medio de Neumática, Electroneumática y PLC's"

que presenta el pasante: José Alejandro Reyes Ramírez  
con número de cuenta: 8931910-3 para obtener el título de :  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXÁMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 21 de Junio de 2002

PRESIDENTE	<u>M.I. José Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio</u>	
VOCAL	<u>Ing. Daniel Hernández Pecina</u>	
SECRETARIO	<u>Ing. Julio Moisés Sánchez Barrera</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Angel Martínez Jiménez</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Héctor Hernández Guzmán</u>	

## AGRADECIMIENTOS

*A la Universidad Nacional Autónoma de México por brindarnos la oportunidad al abrimos sus brazos para tener una formación profesional.*

*A la F.E.S. Cuautitlán por que en sus aulas nos forjamos como ingenieros.*

*A nuestro asesor el Maestro José Guadalupe Alfonso Ramos Anastasio por que con su paciencia nos guió para concluir este trabajo.*

*A nuestro coasesor el Ingeniero Enrique Cortés González por sus observaciones en la realización del mismo.*

*A nuestros sinodales y suplentes, Ing. Daniel Hernández Pecina, Ing. Julio Moisés Sánchez Barrera, Ing. Angel Martínez Jiménez, e Ing. Héctor Hernández Guzmán por las revisiones y correcciones pertinentes; así como de la aplicación del examen profesional.*

*A mi compañero de tesis por su esfuerzo y compromiso para la realización de esta meta tan importante en nuestras vidas.*

*A nuestros amigos y compañeros que se cruzaron en nuestros caminos y que de alguna u otra forma influyeron en nuestra formación y de igual manera por aquellos que se quedaron en el camino.*

*Héctor Ricardo Hernández Vega  
José Alejandro Reyes Ramírez*

## DEDICATORIA

*A mi Padre Celestial por permitirme vivir para ver la realización de este sueño.*

*A mis padres Luis y Juanita por que sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constantes, solo deseo que comprendan que el logro mio es suyo, que mi esfuerzo es inspirado en ustedes, que son mi único ideal.*

*A mis hermanos Luis y Deyanira por que con su apoyo han colaborado en algunos momentos de mi vida en mi formación profesional.*

*A ti Jovita por todo tu amor comprensión y apoyo, por tus palabras de aliento, por ser mi motivo y por que sin ti nunca lo hubiera logrado. Por tenerme fe yo te demostrare cuanto te amo.*

*A ustedes hijos que aunque aun no les conozco sepan que los amo profundamente. Sepan que esta lucha es inspirada en ustedes.*

*Alejandro*

# INDICE

---

INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1	
AUTOMATIZACIÓN	4
CAPITULO 2	
NEUMÁTICA	20
2.1 Generación y Alimentación de Aire Comprimido	27
2.1.1 Preparación de Aire Comprimido	27
2.1.2 Compresores	30

---

2.1.3 Acumulador	35
2.1.4 Secadores de Aire	38
2.1.5 Distribución de Aire	46
2.1.6 Unidad de Mantenimiento	51
<b>2.2 Actuadores e Indicadores</b>	<b>66</b>
2.2.1 Cilindro de Simple Efecto	67
2.2.2 Cilindro de Doble Efecto	69
2.2.3 Estructura de Cilindros	72
2.2.4 Propiedades de los Cilindros	76
<b>2.3 Válvulas de Vías</b>	<b>84</b>
2.3.1 Tipos	84
2.3.2 Válvulas 3/2 Vías	86
2.3.3 Válvulas 5/2 Vías	91
2.3.4 Caudales de Válvulas	95
2.3.5 Funcionamiento Fiable de las Válvulas	96
<b>2.4 Válvulas de Cierre, de Caudal y Presión, Combinación de Válvulas</b>	<b>97</b>
2.4.1 Válvulas de Cierre	97
2.4.2 Válvulas de Caudal	102
<b>2.5 Neumática Avanzada</b>	<b>105</b>
2.5.1 Método Cascada	105
2.5.2 Método Paso a Paso	107



<i>2.5.3 Cadenas Secuenciales</i>	109
-----------------------------------	-----

**CAPITULO 3**

<b>ELECTRONEUMÁTICA</b>	112
-------------------------	-----

<b>3.1 Fundamentos de Control</b>	114
-----------------------------------	-----

<b>3.2 Alimentación Eléctrica y sus Características</b>	116
---	-----

<b>3.3 Válvulas Distribuidoras</b>	117
------------------------------------	-----

<i>3.3.1 Formas Constructivas</i>	118
-----------------------------------	-----

<i>3.3.2 Métodos de Accionamiento</i>	120
---------------------------------------	-----

<i>3.3.3 Conversión de la Energía Eléctrica en Neumática</i>	121
--	-----

<i>3.3.4 Válvulas Piloteadas</i>	122
----------------------------------	-----

<i>3.3.5 Fiabilidad de las Válvulas</i>	124
---	-----

<i>3.3.6 Características de Conmutación de las Válvulas</i>	125
---	-----

<b>3.4 Conmutadores y Relés</b>	127
---------------------------------	-----

<i>3.4.1 Configuración Básica de los Interruptores</i>	129
--	-----

<i>3.4.2 Métodos de Accionamiento</i>	134
---------------------------------------	-----

<i>3.4.3 Sensores Electrónicos</i>	136
------------------------------------	-----

<b>3.5 Dispositivos de Salida Eléctricos</b>	137
--	-----

<b>3.6 Convertidor Eléctrico-Neumático</b>	138
--	-----

<b>3.7 Desarrollo de un Sistema de Control</b>	139
--	-----

**3.8 Algunas Metodologías en Esquemas Eléctricos y Diseño Secuencial**

<b>de Movimientos</b>	144
3.8.1 <i>Método de la Bandera</i>	145
3.8.2 <i>Método Cascada</i>	147
3.8.3 <i>Método Paso a Paso Mínimo</i>	149
3.8.4 <i>Método paso a paso Máximo</i>	151

**CAPITULO 4**

**PLC's (Controles Lógicos Programables)**

<b>4.1 El PLC en la Tecnología de la Automatización</b>	152
4.1.1 <i>Areas de Aplicación de un PLC</i>	154
4.1.2 <i>Definición Básica de un PLC</i>	157
4.1.3 <i>El Nuevo Estándar para PLC (IEC-1311)</i>	160
<b>4.2 Diseño y Modo de Funcionamiento de un PLC</b>	161
4.2.1 <i>Estructura de un PLC</i>	161
4.2.2 <i>Modo de Funcionamiento de un PLC</i>	162
4.2.3 <i>Memoria de Programas de Aplicación</i>	164
4.2.4 <i>Módulos de Entrada</i>	167
4.2.5 <i>Módulos de Salida</i>	170
4.2.6 <i>Dispositivo Programador – Ordenador Personal</i>	172
	141

---

<b>4.3 Programación de un PLC</b>	
<i>4.3.1 Búsqueda de una Solución Sistemática</i>	176
<i>4.3.2 Lenguajes de Programación</i>	182
<b>4.4 Diagrama de Contactos</b>	186
<i>R4.4.1 Elementos del Diagrama de Contactos</i>	186
<i>4.4.2 Funciones y Bloques de Función</i>	189
<i>4.4.3 Evaluación de los Renglones Actuales</i>	190
<b>4.5 Sistemas de Control Lógico</b>	191
<i>4.5.1 ¿Qué es un Sistema de Control?</i>	191
<i>4.5.2 Sistemas de Control Lógico sin Propiedades Memorizantes</i>	192
<i>4.5.3 Sistemas de Control Lógico con Función Memorizante</i>	194
<b>4.6 Sistema de Control Secuencial</b>	194
<i>4.6.1 ¿Qué es un Sistema de Control Secuencial?</i>	194
<i>4.6.2 Diagrama Desplazamiento-Paso</i>	196

## **CAPITULO 5**

### **PROYECTO NEUMÁTICA**

<b>5.1 Descripción del Problema</b>	198
<b>5.2 Croquis de Situación</b>	199
<b>5.3 Método Paso a Paso</b>	200
<i>5.3.1 Diagrama Espacio-Fase</i>	200

5.3.2 <i>Análisis de Sensores</i>	200
5.3.3 <i>Ecuación de Movimientos</i>	200
5.3.4 <i>Diagrama de Conexiones</i>	201
<b>5.4 Método Cascada</b>	202
5.4.4 <i>Diagrama de Conexiones</i>	202
<b>5.5 Método de Cadenas de Secuencia (Paso a Paso Máximo)</b>	202
5.5.3 <i>Ecuación de Movimientos</i>	202
5.5.4 <i>Diagrama de Conexiones</i>	203
<b>5.6 Método Básico</b>	204

## CAPITULO 6

### PROYECTO ELECTRONEUMÁTICA

<b>6.1 Método Paso a Paso</b>	205
6.1.3 <i>Análisis de Sincronía</i>	205
6.1.4 <i>Ecuación de Movimientos</i>	206
6.1.5 <i>Diagrama Neumático</i>	206
6.1.6 <i>Diagrama de Conexiones</i>	206
<b>6.2 Método Cascada</b>	207
6.2.6 <i>Diagrama de Conexiones</i>	207
<b>6.3 Método Bandera</b>	207
6.3.6 <i>Diagrama de Conexiones</i>	207

<b>6.4 Método Básico</b>	<b>208</b>
--------------------------	------------

**CAPITULO 7**

**PROYECTO PLC's**

<b>7.1 Programación FST (Festo Software Tool)</b>	<b>209</b>
<i>7.1.1 Los PLC's FESTO FEC – 20 (Características generales).</i>	<b>210</b>
<i>7.1.2 Especificaciones Físicas</i>	<b>211</b>
<i>7.1.3 Vida de los Contactos de los Reléadores de Salida (Características Generales)</i>	<b>213</b>
<b>7.2 Desarrollo del programa</b>	<b>215</b>
<i>7.2.1 Análisis de Sensores</i>	<b>215</b>
<i>7.2.2 Presentación del Software</i>	<b>215</b>
<i>7.2.3 Crear un Proyecto</i>	<b>216</b>
<i>7.2.4 Configuración de Entradas y Salidas</i>	<b>216</b>
<i>7.2.5 Cargar un Proyecto</i>	<b>218</b>
<i>7.2.6 Modo en Línea con el PLC</i>	<b>218</b>
<i>7.2.7 Lista de Localidades</i>	<b>219</b>
<i>7.2.8 Editor Escalera</i>	<b>220</b>
<i>7.2.9 Cargar Programa</i>	<b>222</b>
<i>7.2.10 Run, Stop, Run</i>	<b>222</b>
<b>7.3 Conexiones de Entradas y Salidas en el PLC</b>	<b>222</b>

---

<b>CAPITULO 8</b>	
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>223</b>
<b>APENDICE</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>132</b>

# INTRODUCCIÓN

---

En esta tesis se pretende dar a conocer las ventajas y desventajas de un proceso industrial analizando los pros y los contras que se encuentren en los distintos tipos de automatización, llámese neumática, electroneumática o PLC's, así como los diferentes procedimientos o soluciones que cada uno plantea para obtener la solución más óptima.



Las primeras aplicaciones de control se basan en los mecanismos reguladores con flotador desarrollados en Grecia en el periodo 300 a 1 A. C. El reloj de agua de

Ktesibios usaba un regulador con flotador. Una lámpara de aceite inventada por Filón aproximadamente en el año 250 A. C., usaba un regulador de flotador para mantener el nivel constante deseado de aceite. Herón de Alejandría, quien vivió en el primer siglo D. C., publicó un libro titulado Pneumatica, en el que se describe varias formas de mecanismos de nivel de agua con reguladores de flotador. Con lo descrito anteriormente se observa que la automatización es un recurso creado por el hombre para servir al hombre en la elaboración de productos y servicios que mejoran la calidad de vida del ser humano. Este es un breve marco histórico en donde el ser da los primeros pasos para que posteriormente se desarrolle la automatización.



La automatización se emplea para mejorar la productividad y poder obtener productos de alta calidad. Podemos decir que la automatización es la operación de control automático de un proceso, aparato o sistema. El control automático de las máquinas y los procesos se emplea para fabricar productos que se encuentran dentro de ciertas tolerancias específicas.



Los controles automáticos tienen una intervención cada vez más importante en nuestra vida diaria, desde los simples controladores que hacen funcionar un tostador hasta los complicados sistemas de control necesarios en las exploraciones especiales. Por esta razón, casi todos los ingenieros tienen contacto con los sistemas de control, aún cuando únicamente los usen, sin profundizar en la teoría. Los sistemas de control automático son sistemas dinámicos y un conocimiento de la teoría de control proporcionará una base para entender el comportamiento de tales sistemas.



Para determinar el tipo y método de automatización, es necesario considerar: la inversión, el producto o servicio a realizar, el tipo de circunstancias que se presenten (ya sea seguridad, higiene, precisión, cantidad del producto que se elabore en ese lugar etc.). En los siguientes capítulos se describen los distintos tipos y métodos de automatización que la empresa FESTO proporcionó para la elaboración de esta tesis, dando una idea de las distintas formas de solución en la elaboración de un producto .

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

# **AUTOMATIZACIÓN**

---

## **CAPITULO 1**

La automatización puede ser considerada como el paso más importante del proceso de evolución de la industria en el siglo XX, al permitir la eliminación total o parcial de la intervención humana, obteniéndose las ventajas siguientes:

- Reducción de los costes de mano de obra directos.
- Uniformidad de la producción y ahorro de material
- Aumento de la productividad.
- Mayor control de la producción al poder introducir en el proceso sistemas automáticos de muestreo.

- Aumento de la calidad del producto final.

Dicho de otra manera, es importante tener un mercado, pero también es poder seguir su evolución: disminución de los costes, complejidad tecnológica creciente. A estos criterios conviene añadir el mejoramiento de las condiciones de trabajo que progresivamente se imponen como un objetivo esencial.

En todo el proceso de automatización se distinguen tres partes:

- a) Elementos periféricos de entrada, a través de los cuales llega al sistema la información.
- b) Unidad central de tratamiento de la información.
- c) Elementos periféricos de salida, que, de acuerdo con las órdenes elaboradas por la unidad central, gobiernan los elementos de potencial.

El automatismo dispone de numerosas herramientas tecnológicas para realizar el órgano de mando de su sistema (Fig. 1.1) que se reagrupan habitualmente en dos categorías fundamentales: las soluciones cableadas y las soluciones programadas.

Las herramientas cableadas se caracterizan por una relación que requiere

únicamente, pero necesariamente, el establecimiento de uniones materiales (cableado) según un esquema provisto por la teoría o por la experiencia.

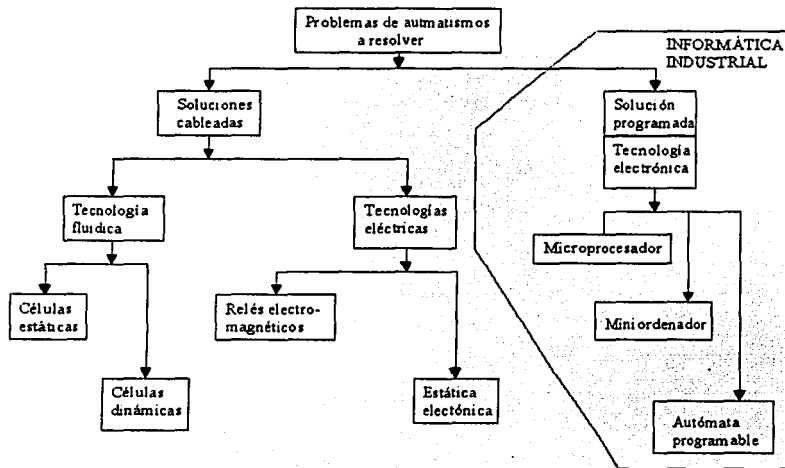


Figura. 1.1

En electricidad o en electrónica las unidades se hacen por cable eléctrico. En fluidos se trata de canalizaciones que unen a los diferentes componentes.

En la industria son empleadas profusamente herramientas cableadas de todas las tecnologías (50% del mercado de órganos de mando) en que se aprecian sus calidades probadas. Sin embargo, ofrecen un cierto número de limitaciones entre las cuales consideramos:

**CAPÍTULO I**

---

- el espacio que ocupa (peso y volumen),
- la falta de flexibilidad en lo que respecta a la puesta a punto de los mandos y la evolución de éstos (mejoramientos, nuevas funciones, etc.),
- la dificultad de dominar problemas complejos,
- el coste de reutilización de los componentes,
- la complejidad de la búsqueda de averías y, por lo tanto, de la reparación,
- una rentabilidad financiera limitada a las funciones simples (20 a 30 relés) en razón de la aparición de las tecnologías programables.

De acuerdo a las lógicas programables se distinguen por un umbral de rentabilidad constantemente decreciente, hasta el punto de que, en lo sucesivo, su empleo sólo puede ser considerado conveniente para sistemas muy pequeños que contienen una veintena de relés. Son objeto del 50% de las inversiones en órganos de mando y se reparten el mercado en condiciones de igualdad con las herramientas cableadas.

En función del tipo de proceso que se pretende controlar y de la forma en la que se realice dicho control, el operador artificial o sistema de control presentará una configuración y características determinadas.

Existen regularmente dos formas básicas de realizar el control de un proceso industrial.

## 1. Control en lazo abierto

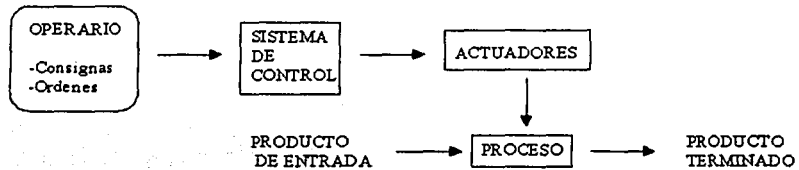


Figura 1.2

El control en lazo abierto (Fig. 1.2), se caracteriza por que la información o variables que controlan el proceso circulan en una sola dirección, desde el sistema de control al proceso. El sistema de control no recibe la confirmación de que las acciones que a través de los actuadores ha de realizar sobre el proceso se han ejecutado correctamente.

## 2. Control en Lazo Cerrado

El control en lazo cerrado (Fig. 1.3), se caracteriza por que existe una realimentación a través de los sensores desde el proceso hacia el sistema de control, que permite a este último conocer si las acciones ordenadas a los actuadores se han realizado correctamente sobre el proceso.

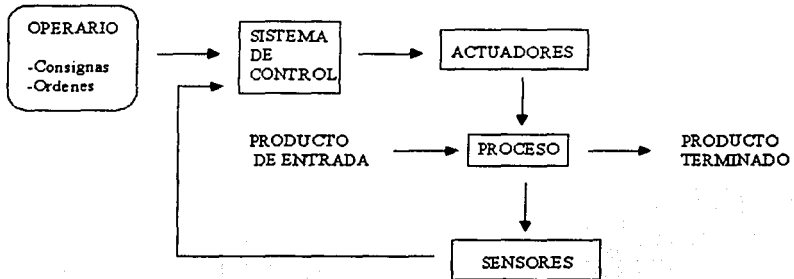


Figura 1.3

La mayoría de procesos existentes en la industria utilizan el control en lazo cerrado, bien, porque el producto que se pretende obtener o la variable que se controla necesita un control continuo en función de unos determinados parámetros de entrada, o bien, porque el proceso a controlar se subdivide en una serie de acciones elementales de tal forma que, para realizar una determinada acción sobre el proceso, es necesario que previamente se haya realizado otra serie de acciones elementales.

La configuración del sistema de control, el número de variables de entrada y salida de que dispone, así como la naturaleza de estas variables, depende del tipo de proceso industrial que se pretende controlar.

En los sistemas o procesos industriales, en función de su evolución con el tiempo, pueden clasificarse en alguno de los grupos siguientes:

**CAPÍTULO I**

---

- Continuos.
- Discontinuos o por lotes.
- Discretos.

Tradicionalmente, el concepto de automatización industrial se ha ligado al estudio y aplicación de los sistemas de control empleados en los procesos discontinuos y aplicación de los sistemas de control empleados en los procesos discontinuos y los procesos discretos, dejando los procesos continuos a disciplinas como regulación o servomecanismos.

Un proceso continuo se caracteriza por que las materias primas están constantemente entrando por un extremo del sistema, mientras que el otro extremo se obtiene de forma continua un producto terminado (Fig. 1.4).

A la vista de la instalación se comprueba dos características propias de los sistemas continuos:

- El proceso se realiza durante un tiempo relativamente largo.
- Las variables empleadas en el proceso y sistema de control son de tipo análogo; dentro de unos límites determinados las variables pueden tomar infinitos valores.



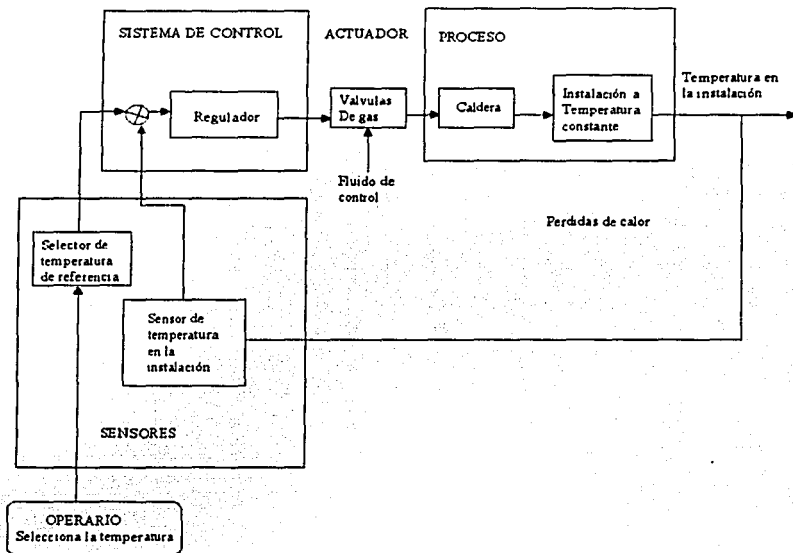


Figura 1.4

El estudio y aplicaciones de los sistemas continuos es objeto de disciplina como Regulación y Servomecanismos.

En el proceso discreto el producto de salida se obtiene a través de una serie de operaciones, muchas de ellas con gran similitud entre sí. La materia prima sobre la

que se trabaja es habitualmente un elemento discreto que se trabaja de forma individual (Fig. 1.5).

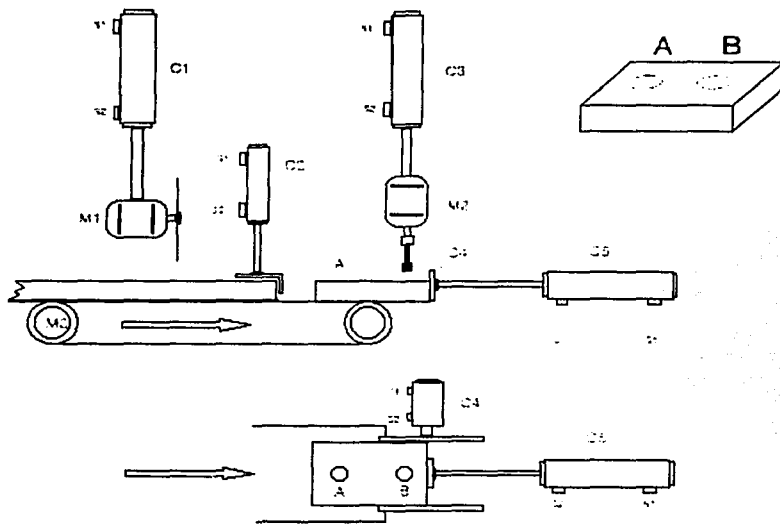


Figura 1.5

Un ejemplo de proceso discreto es la fabricación de una pieza metálica rectangular con dos taladros. El proceso para obtener la pieza determinada puede descomponerse en una serie de estados que han de realizarse secuencialmente, de forma que para realizar un estado determinado es necesario que se hayan realizado correctamente los anteriores. Para el ejemplo propuesto estos estados son:

**CAPÍTULO I**

---

- Corte de la pieza rectangular con unas dimensiones determinadas, a partir de una barra que alimenta la sierra.
- Transporte de la pieza rectangular a la base del taladro.
- Realizar el taladro A.
- Realizar el taladro B
- Evacuar pieza.

Cada uno de estos estados supone a su vez una serie de activaciones y desactivaciones de los actuadores (motores y cilindros neumáticos) que se producirán en función de:

- Los sensores (sensores de posición situados sobre la cámara de los cilindros y contactos auxiliares situados en los contactores que activan los motores eléctricos).
- Variables que indica que se ha realizado el estado anterior.

En los procesos discontinuos o por lotes se reciben a la entrada del proceso las cantidades de las diferentes piezas discretas que se necesitan para realizar el proceso: Sobre este conjunto se realizan las operaciones necesarias para producir un producto acabado o un producto intermedio listo para un procesamiento posterior (Fig. 1.6).

## CAPÍTULO I

Por ejemplo, se trata de formar una pieza de una máquina partiendo de las piezas representadas en la Fig. 6, que se ha obtenido a partir de una serie de procesos discretos; las piezas se ensamblarán como se indica en la figura; una vez colocadas se remacharán los cilindros superiores de las piezas C, D y E de forma que pueda obtenerse la pieza terminada.

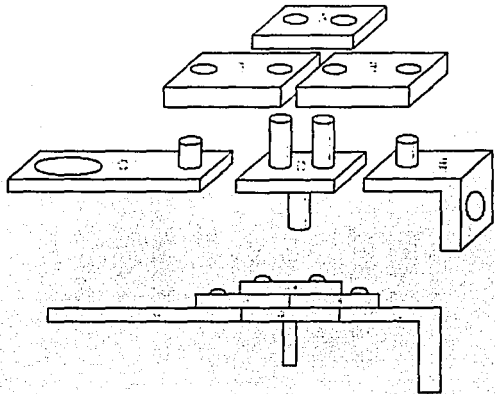


Figura 1.6

El proceso puede descomponerse en estados, que, por ejemplo, podrían ser:

- Posicionar piezas C, D y E.
- Posicionar piezas B.
- Posicionar Pieza A.
- Remachar los cilindros superiores de C, D y E.

**CAPÍTULO I**

---

Estos estados se realizarán de forma secuencial, y para evitar los dispositivos encargados de posicionar las diferentes piezas (como ocurría en el proceso discreto) serán necesarias:

- Señales de sensores.
- Variables de estado anteriores.

Se puede observar que los procesos discretos y discontinuos, tienen una gran similitud entre sí. Ambos procesos podrán controlarse mediante el mismo tipo de sistemas de control, que, debido a su forma de actuación, recibe el nombre de controlador secuencial.

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 realizan una serie de acciones sobre los actuadores (variables de salida).
- Las señales procedentes de los sensores (variable de entrada) controlan la transición entre estados.

## CAPÍTULO 1

• Las variables empleadas en el proceso y sistemas de control (entradas, salida e internas), son múltiples y generalmente de tipo discreto, sólo toman dos valores activado o desactivado. Por ejemplo, un motor sólo 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 los estados, los controladores secuenciales pueden ser de dos tipos: asíncronos o síncronos.

La transición entre estados se da en el mismo instante en que se produce un cambio en las variables de entrada (Fig. 1.7).

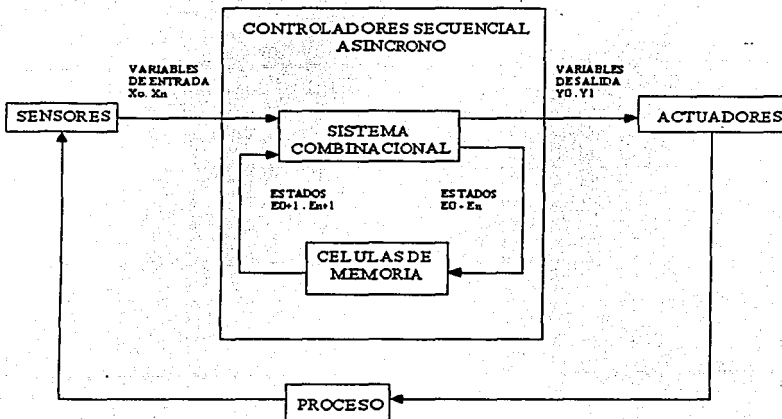


Figura 1.7

## CAPÍTULO I

En la Fig. 1.7 se representa el control de un proceso mediante un controlador asíncrono, formado por un circuito combinacional, que determina las acciones a realizar sobre el proceso, en función de las entradas procedentes de los sensores y de las variables asociadas a estados anteriores que se realimentan a través de las células de memoria.

La transición a un estado determinado se produce en función de las variables de entrada y de la variable asociada al estado anterior. Las variables de entrada y la variable interna (asociada al estado anterior) están sincronizadas mediante una señal de reloj de frecuencia fija, de forma que la transición entre estados sólo se produce para un flanco de la señal de reloj (Fig. 1.8).

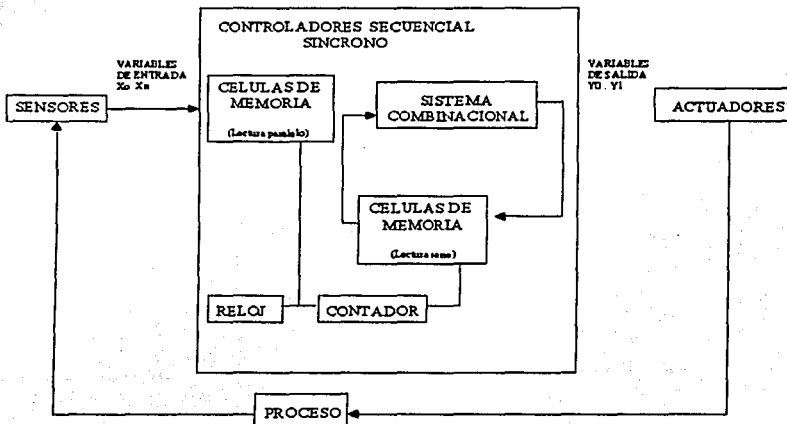


Figura 1.8

**CAPÍTULO I**

---

Las células de memoria que almacenan las variables de entrada se activan todas, de forma conjunta con la señal de reloj, permitiendo el paso al circuito combinacional de las  $X_n$  variables, las células que almacenan las variables asociadas a los estados se activan mediante la señal del contador de forma individual; a cada impulso de la señal de reloj el contador se incrementa en una unidad permitiendo el acceso a una sola célula.

La presencia de las variables de entrada y la variable interna en la entrada del circuito combinacional permiten la activación de las variables de salida asociadas al estado activo. Este tipo de secuenciadores necesita para comenzar la secuencia entre estados la activación del primer estado  $E_0$ .

Los controladores síncronos y asíncronos que han sido descritos podrían construirse empleando lógica cableada y elementos discretos de tecnologías como electrónica, electricidad o neumática. El único requisito que tendría que cumplir el controlador sería que el tiempo que necesita el circuito combinacional para tomar decisiones (ciclo de trabajo), en función de las variables de entrada y estados anteriores, tendrían que ser mucho menor que el tiempo de evolución del proceso.

Al ejemplar lógica cableada, la configuración del circuito combinacional y las operaciones lógicas que ha de realizar, dependen de la calidad de variables



necesarias para controlar el proceso (variables de entrada y salida) y el número de estados en los que se ha desglosado (variables internas). Una modificación del proceso que supongan una modificación en el número de variables anteriores o en su orden de actuación, significa diseñar de nuevo el controlador secuencial.

# NEUMÁTICA

---

## CAPITULO 2

El concepto moderno de neumática trata sobre los fenómenos y aplicaciones de la sobrepresión o depresión –vacío– del aire. La mayoría de las aplicaciones neumáticas de basan en el aprovechamiento de la sobrepresión.

Según su actual definición, la neumática es una técnica moderna, pero según su concepción original es una de las formas de energía más antigua de entre las conocidas por el hombre. Existen manuscritos del siglo I de nuestra era donde se escriben mecanismos accionados por aire caliente; en el trascurso del siglo siguiente fueron diseñados dispositivos, generalmente con fines bélicos.

La neumática, moderna, con sus grandes posibilidades, se inicia en Europa a partir de la mitad del siglo XX debido a la acuciante necesidad de una automatización racional del trabajo. Desde entonces la neumática ha ido evolucionando, y lo seguirá haciendo según las necesidades de la industria, ofreciendo en la actualidad una extensa gama de productos.

La concepción y estudio de los sistemas neumáticos requiere el conocimiento de los elementos neumáticos y su funcionamiento, así como la interconexión entre ellos.

La energía neumática, que emplea aire comprimido como fuente de potencia, tiene cualidades excelentes entre las que destacan:

- El aire es abundante y barato.
- Se transforma y almacena fácilmente.
- Es limpio, no contamina y carece de problemas de combustión con la temperatura.

Los elementos neumáticos pueden alcanzar velocidades de trabajo elevadas pero, dada la compresibilidad del aire, su regulación no es constante.

Los esfuerzos de los actuadores neumáticos tienen un techo alto, aunque limitado e inferior a los de otras técnicas. Exigen un coste elevado en la instalación del

generador de energía neumática y su manipulación es algo ruidosa, como consecuencia de los escapes existentes.

La unidad de presión en el Sistema Internacional – SI – es el  $\text{N} / \text{m}^2$  que recibe el nombre de Pascal. 1 Pa corresponde a la presión que ejerce una fuerza perpendicular de 1 N sobre una superficie de  $1\text{m}^2$ . Esta unidad tiene el inconveniente de ser demasiado pequeña para la mayor parte de las aplicaciones. Se recomienda la utilización de bar como unidad, pues su uso en el campo neumático es más práctico.

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N} / \text{m}^2$$

Tradicionalmente se venían empleando como unidades de presión la atmosférica o el  $\text{kp} / \text{cm}^2$ , de valor muy cercano al bar. Así pues, si no hablamos con rigor, 1 bar, 1 atm, y  $1 \text{ kp} / \text{cm}^2$  se puede considerar equivalentes.

La unidad británica de presión es p. s. i. (poundal square inche = libra fuerza por pulgada cuadrada).

En todo punto de la atmósfera terrestre existe una determinada presión que varía con la altura y las condiciones meteorológicas y se conoce con el nombre de presión atmosférica. Esta presión es igual al peso por la unidad de superficie de la columna

de aire comprendida entre esta superficie y la última capa de la atmósfera. Normalmente se mide con un instrumento llamado barómetro.

La presión resultante de dividir la fuerza ejercida por la sección sobre la que actúa se llama presión absoluta.

Por el hecho de estar todos los cuerpos sometidos a la presión atmosférica, conviene referirse no a la presión absoluta, sino a la diferencia entre la presión absoluta y la atmosférica, a la que se llama presión relativa o manométrica.

La diferencia de presión  $P_{man}$  se calcula según la siguiente fórmula:

$$P_{man} = P_{abs} - P_{atm}$$

El siguiente diagrama (Fig. 2.1) ofrece una información detallada al respecto:

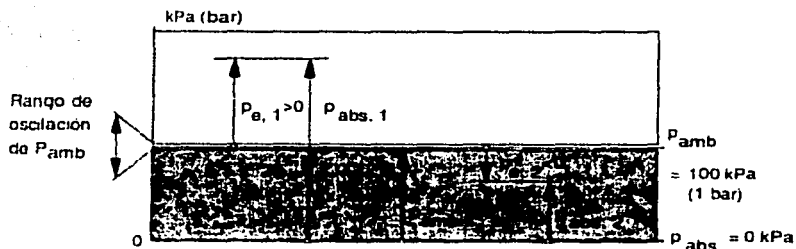


Figura 2.1

La presión absoluta  $P_{abs}$  es el valor relacionado a la presión cero (en vacío). La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica más la sobre presión o subpresión (manométrica).

En la neumática es usual relacionar todos los datos sobre el aire al así llamado estado normal. El estado normal del aire según DIN 1343 es un estado determinado por la temperatura normal y la presión normal de un material sólido, líquido o gas.

- Temperatura normal  $T_n = 273.15 \text{ K}$ ,  $t_n = 0^\circ \text{ C}$
- Presión normal  $p_n = 101325 \text{ Pa} = 1.01325 \text{ bar}$

Para los estudios de rendimiento, indispensables en los análisis económicos de instalaciones, es imprescindible introducir el concepto de potencia de un fluido en movimiento.

El aire comprimido en la neumática, como el aceite en la oleohidráulica, son vehículos a través de los cuales se transmite potencia de una fuente exterior de energía, en general un motor eléctrico o de combustión interna, a unos receptores.

La potencia instantánea consumida por un receptor es igual al producto de fuerza por velocidad. Para una mejor comprensión, supongamos que este receptor es un cilindro.

La fuerza total ejercida por el cilindro es igual al producto de la presión por la sección útil del cilindro. El volumen que se crea por unidad de tiempo, al avanzar el cilindro, es ocupado por el caudal.

De donde la expresión de potencia es:

$N = F \cdot v = (P \cdot S) \cdot (Q / S) = P \cdot Q$ . Si expresamos la presión en  $N / m^2$  y el caudal en  $m^3 / s$ , la potencia se expresa en vatios.

Las características esenciales según las Leyes Fundamentales de los Gases Perfectos son:

- La presión de un gas en equilibrio es la misma en todos los puntos de la masa.
- La masa de un gas presenta una resistencia prácticamente nula a los esfuerzos de corte.

Las leyes que rigen el comportamiento de los gases perfectos, aunque no son cumplidas exactamente por los gases reales, son sencillas.

El aire es una mezcla de gases y tiene la siguiente composición:

- aprox. 79 Vol.% de nitrógeno
- aprox. 21 Vol.% de oxígeno

El aire contiene, además, trazas de dióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

En 1811 el Italiano A. Avogadro halló que el volumen de un gas, a una temperatura y presión dadas, es directamente proporcional al número de moles que contiene, siendo un mol una cantidad de gramos del gas igual a su peso molecular. Es decir, si  $n$  es el número de moles se escribirá:

$$V = k \cdot n$$

Pues bien, la combinación de esta ley con los anteriores nos permite formular una importante ecuación llamada ley de los gases ideales (Esta ecuación es útil en la neumática), según la cual el volumen de un gas es:



**CAPÍTULO 2**

---

- directamente proporcional a la temperatura absoluta y al número de moles
- e inversamente proporcional a su presión

Como se puede observar en la siguiente ecuación:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Donde:

P – Presión absoluta

T – Temperatura absoluta

n – Número de moles

R – Constante universal de los gases.

V – Volumen total

## **2.1 Generación y Alimentación de Aire Comprimido**

### *2.1.1 Preparación del aire comprimido*

Para garantizar la fiabilidad de in mando neumático es necesario que el aire alimentado al sistema tenga un nivel de calidad suficiente. Ello implica considerar los siguientes factores:

**CAPÍTULO 2**

---

- Presión correcta
- Aire seco
- Aire limpio

Si no se acatan estas condiciones, es posible que se originen tiempos más prolongados de inactivación de las máquinas y además, aumentarán los costos de servicio.

La generación del aire a presión empieza por la compresión de aire. El aire pasa a través de una serie de elementos antes de llegar hasta el punto de su consumo. El tipo de compresor y su ubicación en el sistema inciden en mayor o menor medida en la cantidad de partículas, aceite y agua incluidos en el sistema neumático. Para el acondicionamiento adecuado del aire es recomendable utilizar los siguientes elementos:

- Filtro de aspiración
- Compresor
- Acumulador de aire a presión
- Secador Filtro de aire a presión con separador de agua
- Regulador de presión
- Lubricador (bajo demanda)

- Puntos de evacuación del condensado

El que no ha sido acondicionado debidamente provoca un aumento de la cantidad de fallos y, en consecuencia, disminuye la vida útil de los sistemas neumáticos. Estas circunstancias se manifiesta de las siguientes maneras:

- Aumento del desgaste de juntas y de piezas móviles de válvulas y cilindros
- Válvulas impregnadas de aceite
- Suciedad en los silenciadores
- Corrosión en tubos, válvulas, cilindros y otros componentes
- Lavado de la lubricación de los componentes móviles

En caso de inestabilidad el aire comprimido saliente puede afectar los materiales a mecanizar (p. ej. Productos alimenticios).

### Nivel de presión

Los elementos neumáticos son concebidos, por lo general, para resistir una presión de 800 hasta 1000 kPa (8 hasta 10 bar). No obstante, para que el sistema funcione económicamente, es suficiente aplicar una presión de 600 kPa (6 bar). Dadas las resistencias que se oponen al flujo del aire en los diversos elementos (por ejemplo,

en las zonas de estrangulación) y en las tuberías, deberá contarse con una pérdida de presión entre 10 y 50 kPa (0.1 y 0.5 bar). En consecuencia, el compresor debería generar por lo menos una presión de 650 hasta 700 kPa (6.5 hasta 7 bar) con el fin de mantener una presión de servicio de 600 kPa (6 bar).

### 2.1.2 Compresores:

La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesaria. Los compresores se clasifican según su tipo constructivo (Fig. 2.2).

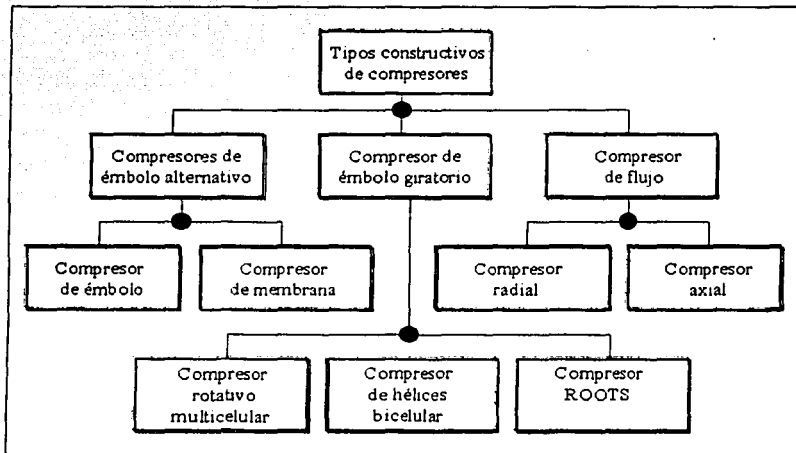


Figura 2.2

**CAPÍTULO 2****Compresores de Émbolo**

Los compresores de émbolo comprimen el aire que entra a través de una válvula de aspiración. A continuación, el aire pasa al sistema a través de una válvula de escape.

Las presiones óptimas para los compresores de émbolo son las siguientes:

Hasta 400 kPa	( 4 bar)	Una etapa
Hasta 1500 kPa	(15 bar)	Dos etapas
más de 1500 kPa	(15 bar)	Tres o más etapas

A continuación se indican presiones usuales, aunque no siempre representan una solución económica:

Hasta 1200 kPa	(12 bar)	Una etapa
Hasta 3000 kPa	(30 bar)	Dos etapas
más de 3000 kPa	(30 bar)	Tres o más etapas

---

### Compresor de Membrana

Los compresores de membrana pertenecen al grupo de compresores de émbolo. En este caso, la cámara de compresión está separada del émbolo mediante una membrana. Esta solución ofrece la ventaja de no dejar pasar aceite del compresor de aire. Por esta razón, los compresores de membrana suelen utilizarse en la industria de alimentos y en la industria farmacéutica y química.

### Compresor de Émbolo Giratorio

Los compresores de émbolo giratorio comprimen el aire mediante un émbolo que gira. Durante el proceso de compresión se reduce continuamente la cámara de compresión.

### Compresor Helicoidal

En estos compresores, dos árboles de perfil helicoidal giran en sentido contrario. El perfil de ambos árboles engranan y así se transporta y comprime el aire.

**CAPÍTULO 2****Compresor de Flujo**

Especialmente apropiados para grandes caudales. Los compresores de flujo se fabrican en dos tipos de construcción, axial y radial. Mediante uno o dos rodetes de turbina se pone en circulación el aire. La energía de movimiento se convierte en energía de presión. Con un compresor axial la aceleración del aire se realiza mediante los rodetes en el sentido axial de la circulación.

- Regulación en vacío
  - Regulación por purgado
  - Regulación por cierre
  - Regulación por pinzas
- Regulación de carga parcial
  - Regulación de velocidad
  - Regulación por aspiración estrangulada
- Regulación de todo o nada

**Regulación en Vacío**

En la regulación por purgado el compresor trabaja en por purgado el compresor trabaja en contra de una válvula limitada de presión. Una vez conseguida la presión ajustada, la válvula limitadora de presión se abre y el aire sale al exterior. Una

**CAPÍTULO 2**

---

válvula antirretorno evita el vaciado del recipiente. Esta regulación únicamente se aplica en instalaciones muy pequeñas.

En la regulación por cierre se bloquea el lado de aspiración. El compresor no puede aspirar. Este tipo de regulación se aplica sobre todo en compresores de émbolo giratorio.

En compresores de émbolo más grandes se aplica la regulación por pinza. Una pieza mantiene la válvula de aspiración abierta, el compresor no puede comprimir el aire.

**Regulación de Carga Parcial**

En la regulación de la velocidad se regula la velocidad del motor de accionamiento del compresor en función de la presión alcanzada.

En la regulación por aspiración estrangulada, la regulación se realiza mediante un estrangulamiento en la conexión de aspiración del compresor.



**CAPÍTULO 2**Regulación de todo o nada

En esta regulación el compresor adopta alternativamente el régimen de marcha a carga máxima y reposo. El motor de accionamiento del compresor se desconecta al alcanzar la  $p_{\max}$ , y vuelve a conectarse al alcanzar la  $p_{\min}$ .

Duración de conexión

Se recomienda una duración de conexión de aprox. un 75% para el compresor. Para ello se requiere determinar el consumo promedio y máximo de aire de una instalación neumática y adaptar la elección del compresor al mismo. Si se prevé de antemano que el consumo de aire aumentará por una ampliación de la instalación, entonces la parte de alimentación de aire comprimido debería proyectarse más grande, ya que una ampliación a posterior representa siempre unos costes muy elevados.

*2.1.3 Acumulador*

Para estabilizar el aire comprimido se coloca adicionalmente al compresor un acumulador (Fig. 2.3). El acumulador equilibra las oscilaciones de la presión al extraer aire comprimido del sistema. Si en el acumulador cae la presión por debajo

de un determinado valor, entonces el compresor lo llenará hasta alcanzar el valor superior de presión ajustado. Esto tiene la ventaja de que el compresor no tiene que trabajar en funcionamiento continuo.

La superficie relativamente grande del acumulador provoca un enfriamiento del aire contenido en él. Durante este proceso de enfriamiento se condensa agua que debe ser purgada regularmente a través de un grifo.

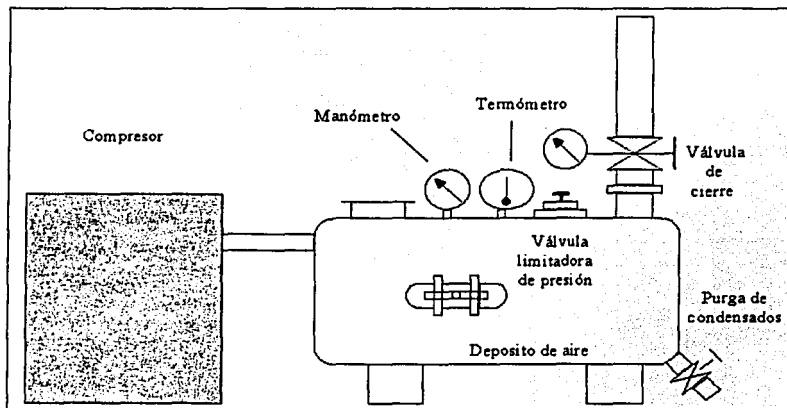


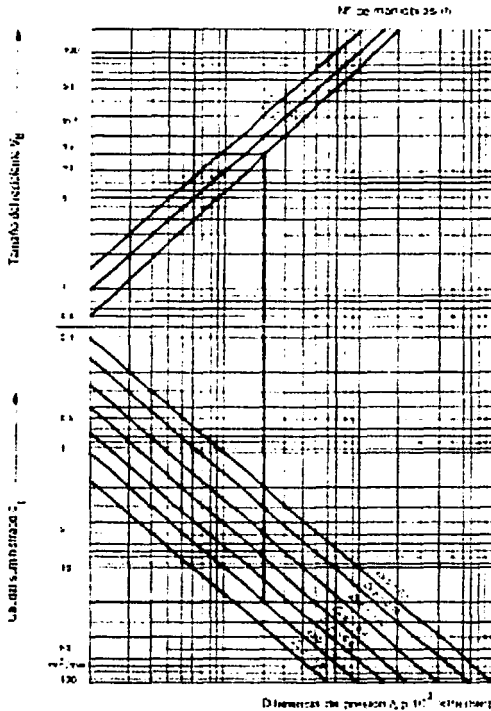
Figura 2.3

El tamaño del acumulador depende de los siguientes criterios:

- Caudal del compresor

- Cantidad de aire requerida en el sistema
- Red de tuberías (posible necesidad de volumen de aire adicional)
- Regulación del compresor
- Oscilación permisible de la presión en el sistema

del acumulador Figura 2.4:  
Diagrama: Determinación del volumen



Cantidad suministrada

$$q_L = 20 \text{ m}^3 / \text{min}$$

Diferencia de presión

$$\Delta p = 100 \text{ kPa (1bar)}$$

Conmutaciones / h

$$z = 20 \text{ l / h}$$

Resultado: Volumen del acumulador  $V_B = 15\text{m}^3$  (véase Fig. 2.4)

**CAPÍTULO 2**

---

*2.1.4 Secadores de aire*

La humedad (el agua) llega a través del aire aspirado del compresor a la red. El porcentaje de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire. La humedad relativa del aire depende de la temperatura del aire y de la situación meteorológica.

La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua contenida realmente en un m<sup>3</sup> de aire. La cantidad saturada es la cantidad de vapor de agua que puede absorber un m<sup>3</sup> de aire con la correspondiente temperatura máxima.

Si la relativa humedad del aire es indicada en tanto por cien, es válida la siguiente fórmula:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{humedad absoluta}}{\text{cantidad saturada}} \cdot 100\%$$

Como la cantidad saturada de la temperatura, la humedad relativa cambia según la temperatura, incluso si la humedad absoluta permanece constante. Si se alcanza el punto de condensación, aumenta la humedad relativa a un 100%.

**Punto de condensación**

Se denomina punto de condensación a la temperatura en la cual la humedad relativa alcanza el 100%. Si se continúa reduciendo la temperatura, el agua que contiene comienza a condensarse. Cuando menor sea la temperatura, tanta más agua condensará.

El aire comprimido con un contenido demasiado elevado de humedad reduce la vida útil de los sistemas neumáticos. En consecuencia es necesario instalar secadores de aire con el fin de reducir el contenido de humedad del aire. Para secar el aire puede recurrirse a alguno de los siguientes métodos:

- Secador por enfriamiento
- Secado por adsorción
- Secado por absorción

**Punto de condensación de presión**

Para que puedan compararse distintos equipos de secado debe tenerse en cuenta la presión de servicio del equipo. Para ello se utiliza el concepto punto de

**CAPÍTULO 2**

---

condensación de presión. El punto de condensación de presión es la temperatura del aire que se alcanza en un secador con la presión de servicio.

El punto de condensación de presión del aire secado debería estar de 2 a 3 °C aprox. por debajo de la temperatura ambiente más fría.

Los costos adicionales ocasionados por la instalación de un secador de aire son rápidamente amortizados debido a la disminución de los costos de mantenimiento, por tiempos de inactividad menores y por la mayor fiabilidad del sistema.

### Secador por enfriamiento

El secador usado con más frecuencia es el secador por enfriamiento (Fig. 2.5). En él, el aire que circula es enfriado en un intercambiador térmico. La humedad contenida en el aire es segregada y recogida en un recipiente.

El aire que penetra en el secador por enfriamiento pasa antes por un proceso de enfriamiento previo en el que se recurre al aire frío que sale de un intercambiador térmico. En el conjunto de enfriamiento el aire es enfriado hasta llegar a una temperatura de entre +2 y +5 °C. El aire comprimido secado se filtra. Al salir del

secador por enfriamiento, el aire comprimido es nuevamente calentado en el intercambiador térmico por el aire que penetra en él.

El secado por enfriamiento permite alcanzar puntos de condensación de presión entre los  $+ 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $+ 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

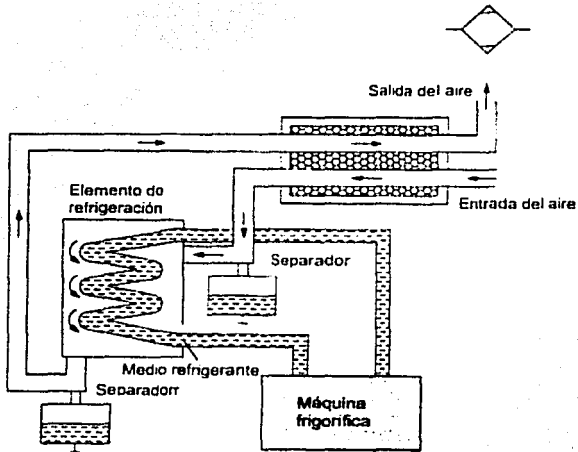


Figura 2.5

Secado por adsorción

Adsorción:

Depósito de materias en la superficie de cuerpos sólidos.

El agente secador, también denominado gel secador, es un granulado compuesto principalmente de óxido de silicio.

Siempre se utilizan dos unidades de adsorción. Si el gel de la primera unidad de adsorción está saturado, el equipo conmuta a la segunda unidad. Entretanto, la primera unidad es regenerada mediante un proceso de secado con aire caliente.

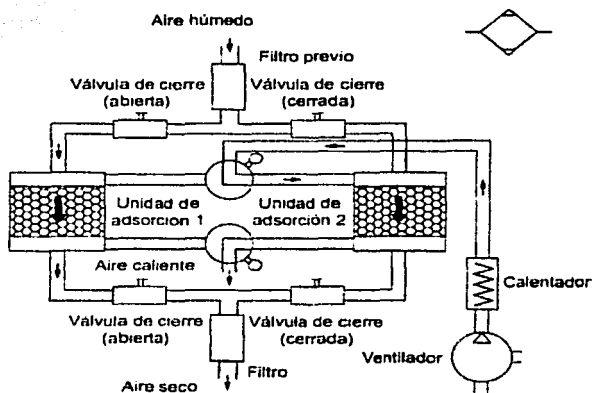


Figura 2.6: Secado por adsorción



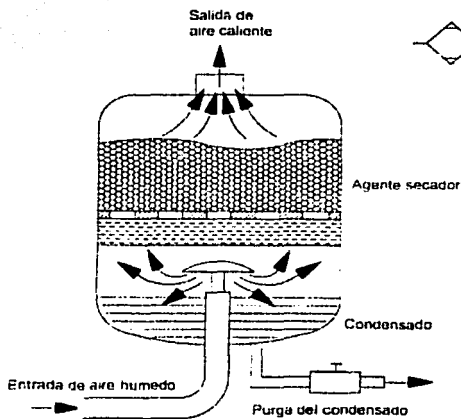
El método de secado por adsorción permite alcanzar puntos de condensación de presión de hasta  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### Secado por adsorción

Absorción:

Una materia gaseiforme es fijada por una materia sólida o líquida.

El proceso de secado por adsorción es un método químico que es utilizado muy pocas veces a raíz de los elevados costos de servicio.

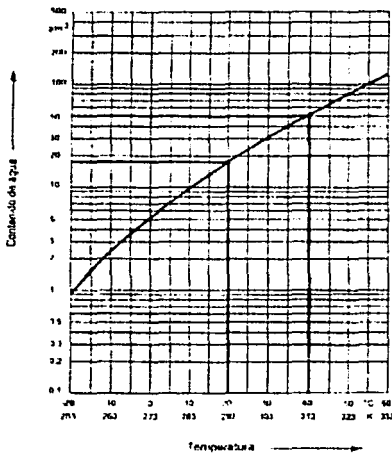


Primero el aire a presión es guiado a través de un filtro para retirar la mayor cantidad de gotas de agua y de aceite posible.

Figura 2.7: Secado por adsorción

Cuando el aire entra en el secador, es sometido a un movimiento rotativo al atravesar la cámara de secado, la cual contiene un agente de fundición (masa de secado). La humedad se une a este agente de absorción y la disuelve. El líquido obtenido de este modo pasa al depósito inferior.

Este depósito tiene que ser vaciado regularmente y, además deberá sustituirse también con regularidad el agente absorbente.



Características del método de absorción:

- Instalación sencilla del equipo
- Poco desgaste mecánico (por no incluir piezas móviles)
- No hay necesidad de recurrir a fuentes de energía extremas

Figura 2.8: Curva del punto de condensación

Después del secador debe preverse un filtro para captar el polvo arrastrado del agente de absorción.

Pueden alcanzarse puntos de condensación de presión inferiores a 0 °C.

### Ejemplo de cálculo

Rendimientos de aspiración	1000 m <sup>3</sup> / h
Presión absoluta	700 kPa (7 bar)
Cantidad comprimida por hora	143 m <sup>3</sup>
Temperatura de aspiración	293 K (20 °C)
Temperatura después de la compresión	313 K (40 °C)
Humedad relativa	50%

### Cantidad de agua antes de la compresión:

Con 293 K (20 °C) se obtiene el siguiente contenido de agua:

$$100\% = 17.3 \text{ g} / \text{m}^3$$

en consecuencia  $50\% = 8.65 \text{ g} / \text{m}^3$

De ello resulta  $8.65 \text{ g} / \text{m}^3 \cdot 143 \text{ m}^3 / \text{h} = 7307 \text{ g} / \text{h}$

Por lo tanto, la cantidad de agua segregada después de la compresión es la siguiente:

$$8650 \text{ g} / \text{h} - 7307 \text{ g} / \text{h} = 1343 \text{ g} / \text{h}.$$

### *2.1.5 Distribución del aire*

Para que la distribución del aire sea fiable y no cause problemas, es recomendable actuar con una serie de puntos. Entre ellos, las dimensiones correctas del sistema de tuberías son tan importantes como la elección correcta de los materiales, de la resistencia al caudal del aire, así como la configuración del sistema de tuberías y la ejecución de los trabajos de mantenimiento.

#### Dimensiones de las tuberías

Tratándose de instalaciones nuevas, siempre debe tomarse en cuenta una posible ampliación posterior del sistema de aire comprimido. Concretamente, la tubería principal debería tener dimensiones mayores a las que se necesitan para el sistema actual. Con miras a una posterior ampliación, también es recomendable instalar cierres y válvulas de bloqueo adicionales.

En todos los conductos se producen pérdidas de presión a raíz de resistencias al flujo, especialmente en zonas de estrechamiento, en ángulos, bifurcaciones y conexiones de tubos. Estas pérdidas tienen que ser compensadas por el compresor. La disminución de presión en todo el sistema debería la mínima posible.

---

Para calcular las diferencias de presión es necesario conocer exactamente la longitud de las tuberías. Las conexiones de tubos, las desviaciones y los ángulos deberán ser sustituidos por las longitudes respectivas. Además, la selección del diámetro interior correcto depende también de la presión de servicio y de la cantidad de aire alimentado al sistema; en consecuencia, es recomendable calcular el diámetro mediante un nomograma.

### Resistencia al caudal

Cualquier tipo de influencia que inicia sobre el flujo de aire o cualquier cambio de dirección significan un factor de interferencia que provoca un aumento de la resistencia al flujo. Ello tiene como consecuencia una constante disminución de la presión dentro de las tuberías. Dado que es inevitable utilizar desviaciones, ángulos y conexiones de tubos en cualquier red neumática, es imposible evitar una reducción de la presión. No obstante, la instalación óptima de las conexiones pueden contribuir a que la reducción sea mínima.

### Material de las tuberías

Los sistemas neumáticos modernos exigen la instalación de tubos que cumplan con determinadas condiciones. Concretamente, los materiales tienen que cumplir con lo siguiente

- Bajo nivel de pérdida de presión
- Estanqueidad
- Resistencia a la corrosión
- Posibilidad de ampliación

En lo que respecta al uso de materiales de plástico, no solo tiene que tomarse en cuenta sus precios, sino que también cabe anotar que con ellos los costos de instalación son más bajos. Los tubos de plástico pueden unirse al 100% de estanqueidad utilizando pegamentos. Además, las redes de tuberías de plástico pueden ampliarse fácilmente.

Las tuberías de cobre o de acero, por lo contrario, son más baratas, pero para unir las hay que soldarlas o utilizar conexiones roscadas. Si estos trabajos no son llevados a cabo de modo esmerado, bien puede suceder que el sistema sea contaminado con viruta, residuos de soldadura, depósitos de partículas o de materiales de juntas. De

este modo pueden surgir problemas durante el funcionamiento del sistema. Tratándose de tubos de diámetros pequeños y medianos, los de plástico ofrecen ventajas en comparación con todos los demás en lo que respecta al precio, al montaje, al mantenimiento y a la posibilidad de ampliar la red.

Dadas las oscilaciones de la presión en la red, es indispensable que los tubos sean montados sólidamente, ya que de lo contrario es posible que se produzcan fugas en las conexiones atornilladas o soldadas.

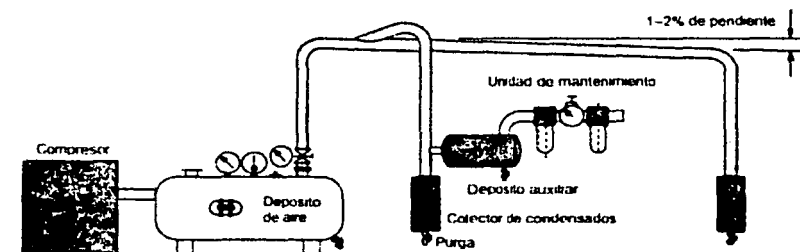


Figura 2.9: Sistema de abastecimiento de aire

### Configuración de la red de tubos

La configuración de la red de tuberías es de gran importancia para el funcionamiento económico del sistema, aparte de escoger las dimensiones correctas de los tubos y de optar por una buena calidad de los materiales empleados. El compresor suministra al sistema de aire a presión en ciertos intervalos. Por lo tanto es frecuente que el

consumo de aire a presión aumente solo durante un breve plazo. Esta circunstancia puede provocar condiciones desfavorables en la red de aire a presión. Por lo tanto es recomendable instalar un círculo anular principal de aire a presión, ya que de ese modo se obtiene un nivel de presión relativamente constante.

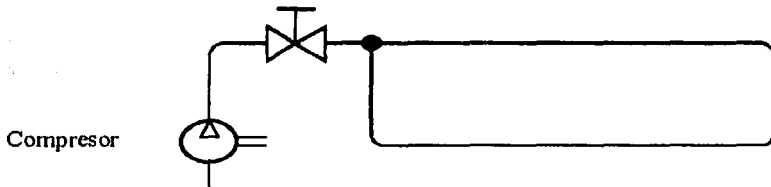


Figura 2.10: Circuito anular

Para efectuar trabajos de mantenimiento, de reparación y de ampliación de la red sin interferir en la alimentación del aire a presión, es aconsejable segmentar la red por partes individuales.

Con ese fin deberán instalarse bifurcaciones con conexiones en T y colectores con acoplamientos enchufables. Los conductos de bifurcación deberían estar equipados con válvulas de cierre o con válvulas de bola tipo estándar.

Aunque el sistema de evaluación de aire del sistema generador de presión sea eficiente, siempre puede haber residuos de condensado en el sistema de tuberías debido a caídas de presión o de la temperatura exterior. Para evacuar ese



condensado, todo el sistema debería tener una inclinación de 1 hasta 2% en dirección del flujo de aire. Los puntos de evacuación también pueden instalarse

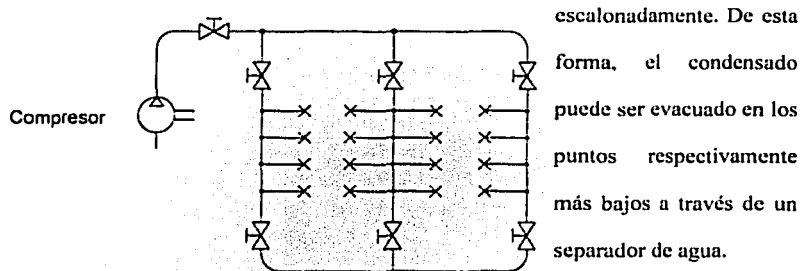


Figura 2.11: Red múltiple

### 2.1.6 Unidad de mantenimiento

Las distintas funciones del acondicionamiento del aire a presión, filtrar, regular y lubricar pueden llevarse a cabo con elementos individuales. A menudo estas funciones se han unido en una unidad operativa, la unidad de mantenimiento. Dicha unidad es antepuesta a todas las instalaciones neumáticas.

Por lo general la lubricación de aire a presión ya no es necesaria en las instalaciones modernas. Solo debería aplicarse puntualmente, sobre todo en la sección de potencia de una instalación. El aire comprimido en la sección de mando no debería lubricarse.

### Filtros de aire a presión

El condensado, las impurezas y demasiada cantidad de aceite pueden ser motivo de desgaste de piezas móviles y de juntas de elementos neumáticos. Dichas sustancias pueden contaminar el medio ambiente a través de fugas en el sistema. Si no se utilizan filtros, es posible que los productos que se produzcan en la fábrica queden utilizados por efecto de la suciedad (por ejemplo, en el caso de los alimentos o productos farmacéuticos o químicos).

El abastecimiento de aire a presión de buena calidad en un sistema neumático

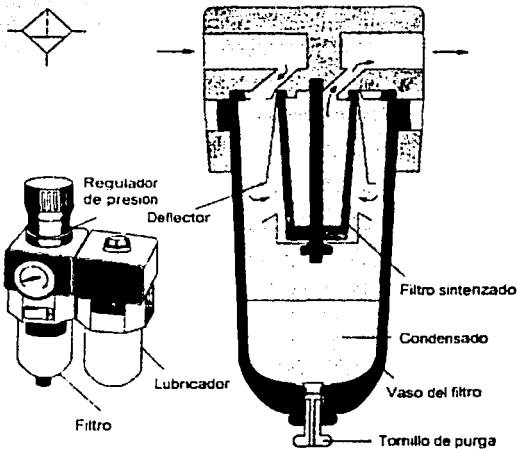


Figura 2.12: Filtro de aire a presión

depende en gran medida del filtro que se elija. El parámetro característico de los filtros es la amplitud de los poros. Dicho parámetro determina el tamaño mínimo de las partículas que pueden ser retenidas en el filtro.

El agua condensada deberá ser purgada antes de que su volumen llegue al nivel máximo, ya que de lo contrario volvería a mezclarse con el aire.

Si el condensado es cuantioso es recomendable instalar un sistema de purga automático en vez de recurrir a un grifo manual. No obstante, en este caso debería buscarse también la causa de este elevado nivel de condensado. por ejemplo un guiado inapropiado de las conducciones podrían ser una.

La unidad de purga automática tiene un flotador que, al llegar a la marca de máximo, actúa sobre una palanca que abre una tobera dejando pasar aire a presión. el aire a presión actúa sobre una membrana la que, por su parte, abre una salida de purga. Una vez que el flotador llega al nivel mínimo de condensado en el depósito, cierra la tobera y se interrumpe la operación de evacuación. Además existe la posibilidad de vaciar el depósito manualmente.

El aire a presión que entra en el filtro choca con un disco en espiral, por lo que se produce un movimiento rotativo. La fuerza centrífuga tiene como consecuencia la separación de partículas de agua y de sustancias sólidas, que se depositan en la pared interior del filtro, desde donde son evacuadas hacia un depósito. El aire acondicionado de esta manera atraviesa el filtro, en el que son separadas las

partículas de suciedad restantes que tengan dimensiones superiores a los tamaños de los poros. Los filtros normales tienen poros con dimensiones que oscilan entre:

5  $\mu\text{m}$  y 40  $\mu\text{m}$ .

Bajo el concepto de grado de filtración de un filtro se entiende el porcentaje de partículas de una dimensión determinada que son separadas de la corriente de aire, p. ej. un grado de filtración de 99.99% en relación a una dimensión de partícula de 5  $\mu\text{m}$ . Con un filtro finísimo puede retenerse el 99.999% de las partículas con una dimensión superior a 0.01  $\mu\text{m}$ .

Los filtros tienen que ser sustituidos después de cierto tiempo, ya que las partículas de suciedad pueden obturarlos. Si bien es cierto que el efecto de filtración se mantiene incluso si el filtro está sucio, cabe tener en cuenta que un filtro sucio significa una resistencia mayor al flujo del aire. En consecuencia se produce una mayor caída de presión en el filtro.

Para determinar el momento oportuno para cambiar el filtro, deberá efectuarse un control visual o una medición de la diferencia de presiones.

### Mantenimiento

Los intervalos para el cambio de los filtros dependen de la calidad del aire comprimido, de la cantidad de aire requerido por los elementos neumáticos y del tamaño del filtro. Las operaciones de mantenimiento de filtros incluyen lo siguiente:

- Sustituir o limpiar el cartucho filtrante
- Evacuación de condensado

Al efectuar trabajos de limpieza, deberán acatarse las indicaciones hechas por el fabricante en relación con las sustancias que podrán utilizarse con ese fin.

### Reguladores de presión

El nivel de la presión del aire comprimido generado por el compresor no es constante. Las oscilaciones de la presión en las tuberías puede incidir negativamente en las características de conmutación de las válvulas, en la velocidad de los cilindros y en la regulación del tiempo de válvulas de estrangulación y de retardo.

En consecuencia, es importante que la presión del aire sea constante para que el equipo neumático no ocasione problemas. Para obtener un nivel constante de la

**CAPÍTULO 2**

---

presión el aire se instalan reguladores de presión en la red de aire a presión con el fin de procurar la uniformidad de la presión en el sistema de alimentación de aire comprimido (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que surjan en el circuito principal (presión primaria). El reductor o regulador de presión es instalado detrás del filtro de aire, con el fin de mantener un nivel constante de la presión de servicio. El nivel de la presión siempre debería regirse por las exigencias que plantea la parte correspondiente del sistema.

En la práctica una presión de servicio de

- 600 kPa (6 bar) en la sección de operación
- 300 bis 400 kPa (3 bis 4 bar) en la sección de mando

Han demostrado ser la mejor solución para satisfacer los criterios de generación de aire a presión y los del rendimiento de los elementos neumáticos.

Si la presión de trabajo es más elevada, no se aprovechará debidamente la energía y además el desgaste sería mayor, si la presión es menor, disminuiría el rendimiento, especialmente en la sección operativa del sistema.

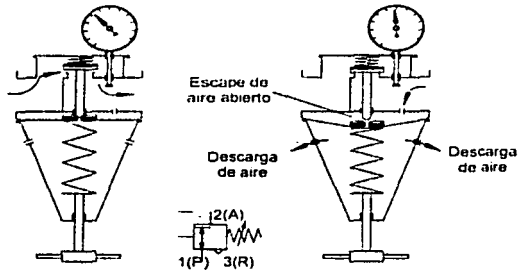


Figura 2.13: Válvula reguladora de presión sin escape

Válvula reguladora de presión con escape

Funcionamiento:

La presión de entrada (presión primaria) siempre tiene que ser mayor que la presión de salida (presión secundaria) en la válvula reguladora de presión. La presión es regulada mediante una membrana. La presión de salida actúa sobre uno de los lados de la membrana, mientras que por el otro lado actúa un muelle. La fuerza del muelle puede ajustarse mediante un tornillo.

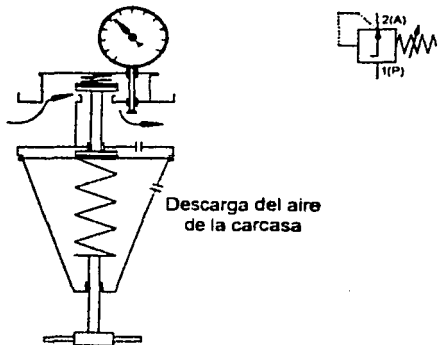


Figura 2.14: Válvula reguladora de presión sin escape

**CAPÍTULO 2**

---

Si la presión aumenta en el circuito secundario, por ejemplo al producirse un cambio de cargas en un cilindro, la membrana es presionada contra el muelle, con lo que disminuye o se cierra el diámetro del escape en el asiento de la válvula. El asiento de la válvula abre y el aire a presión puede salir a través de los taladros de evacuación.

Si disminuye la presión en el circuito secundario, el muelle se encarga de abrir la válvula. En consecuencia, la regulación de la presión de aire en función de una presión de trabajo ajustada con antelación significa que el asiento de la válvula abre y cierra constantemente por efecto de volumen de aire que pasa a través de ella. La presión de trabajo es indicada en un instrumento de medición.

### Válvula reguladora de presión sin escape

#### Funcionamiento:

Si la presión de trabajo (presión secundaria) es demasiado alta, aumenta la presión en el asiento de la válvula, con lo que la membrana actúa en contra la fuerza del muelle. Al mismo tiempo es reducido o cerrado el escape en el asiento de la junta. De este modo queda reducido o bloqueado el caudal de aire. Para que pase el aire a presión es necesario que la presión de trabajo en el circuito secundario sea menor que la presión del circuito primario.



### Lubricación del aire a presión

En términos generales, no debería lubricarse el aire a presión. No obstante, si las partes móviles de válvulas y cilindros requiriesen de lubricación, deberá enriquecerse el aire a presión constantemente con una cantidad suficiente de aceite. La lubricación del aire a presión debería siempre limitarse tan solo a los segmentos del sistema que necesite lubricación. El aceite que pasa del compresor al aire a presión no es apropiado para la lubricación de elementos neumáticos.

Los cilindros provistos de juntas resistentes al calor no deberían recibir aire a presión lubricado, ya que el aceite contenido en el aire podría producir un lavado de la grasa especial que llevan los cilindros.

Si se opta por usar aire a presión no lubricado en sistemas que antes sí lo usaban, será necesario renovar la lubricación original de fábrica de las válvulas y de los cilindros, ya que es posible que dicha lubricación original entretanto haya desaparecido.

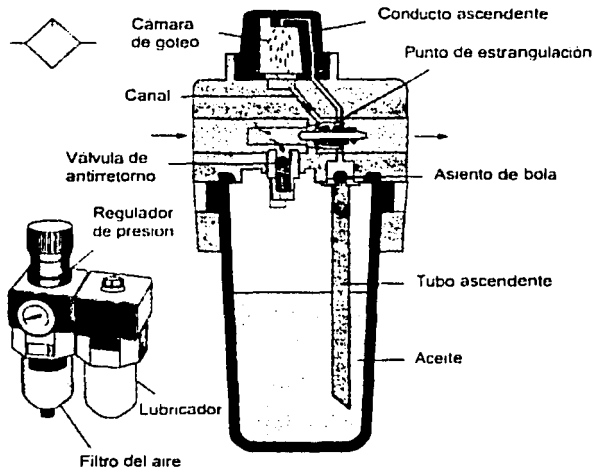


Figura 2.15: Lubricador de aire a presión

El aire a presión debería contener aceite de lubricación en los siguientes casos:

- Necesidad de operar con movimientos extremadamente veloces
- Uso de cilindros de grandes diámetros (En este caso, es recomendable instalar la unidad de lubricación inmediatamente antes del cilindro)

Si la lubricación es demasiado copiosa, pueden surgir los siguientes problemas:

- Funcionamiento deficiente de elementos

**CAPÍTULO 2**

---

- Mayor contaminación del medio ambiente
- Agarrotamiento de elementos después de periodos de inactivación prolongados

**Funcionamiento**

El aire a presión pasa a través de la unidad de lubricación. Al atravesar una zona de estrangulación en dicha unidad, se produce un vacío.

Este vacío provoca la succión del aceite a través de una tubería conectada a un depósito. El aceite pasa a una cámara de goteo donde es pulverizado y mezclado con el aire.

**Ajuste de la unidad de lubricación**

El aceite puede ser dosificado de la siguiente manera:

La dosificación del aceite puede realizarse en concordancia con un valor orientativo de 1 hasta 10 gotas por metro cúbico de aire a presión. La dosificación correcta puede comprobarse del siguiente modo: colocar un trozo de cartón blanco a unos 10 cm de la boca del aire de salida del elemento de ajuste del cilindro más alejado del lubricador. Después de que el sistema esté en funcionamiento durante un tiempo

prudencial, el cartón podrá adquirir una coloración ligeramente amarillenta. Si gotea aceite es signo de exceso de lubricación.

### Mantenimiento de la unidad de lubricación

El aceite segregado por el compresor no puede utilizarse como lubricante para los elementos neumáticos. Este aceite se quema o se evapora debido al calor generado por el compresor. En consecuencia tendría un efecto abrasivo en los cilindros y válvulas, con lo que el rendimiento de estos elementos se vería afectado seriamente.

Los depósitos de aceite en las paredes interiores de las tuberías de alimentación representan otro problema que deberá tenerse en cuenta al realizar los trabajos de mantenimiento de sistemas que funcionan con aire a presión lubricado.

Estos depósitos de aceite pueden ser absorbidos incontroladamente por la corriente de aire, con lo que aumentaría el grado de suciedad del aire a presión. Los trabajos de mantenimiento de sistemas que adolecen de este problema son sumamente complicados, puesto que la única forma de limpiar una tubería sucia por depósitos de aceite es desmontándola.

**CAPÍTULO 2**

---

Los depósitos de aceite también pueden tener como consecuencia que los elementos queden adheridos, especialmente si la instalación ha estado sin funcionar durante un periodo prolongado. Transcurrido un fin de semana o un día festivo es posible que las unidades lubricadas ya no funcionen correctamente.

La lubricación del aire a presión debería siempre limitarse tan solo a las partes del sistema que deben ser abastecidas sin falta. Para el abastecimiento de aceite lo mejor es instalar la unidad de lubricación del aire a presión directamente delante de los elementos desgastados. Para la sección de mando de una instalación neumática deberán escogerse elementos autolubrificantes.

Por consiguiente, la regla básica es: acondicionar el aire a presión sin aceite.

Resumiendo, deberían tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- No permitir que el aceite proveniente del compresor pase a la red del aire a presión (instalación de un separador de aceite).
- Instalar exclusivamente elementos que también puedan funcionar sin aire lubricado.
- Una vez que un sistema ha funcionado con aceite, deberá seguir funcionando con aire lubricado ya que los elementos pierden su lubricación de fábrica en el transcurso del tiempo a causa del aceite agregado al aire.

Unidad de mantenimiento

En relación a la unidad de mantenimiento hay que tener en cuenta lo siguiente:

- El tamaño de la unidad de mantenimiento depende del caudal de aire ( $m^3 / h$ ). Si el caudal es demasiado grande, la caída de presión en los elementos neumáticos sería considerable. En consecuencia es indispensable acatar las indicaciones hechas por el fabricante respectivo.
- La presión de servicio no deberá rebasar el valor correspondiente indicado en la unidad de mantenimiento. La temperatura ambiente no debería ser superior a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  (valor máximo para elementos de material plástico).

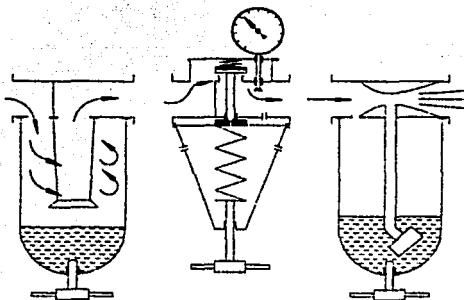


Figura 2.16: Unidad de mantenimiento: Funcionamiento

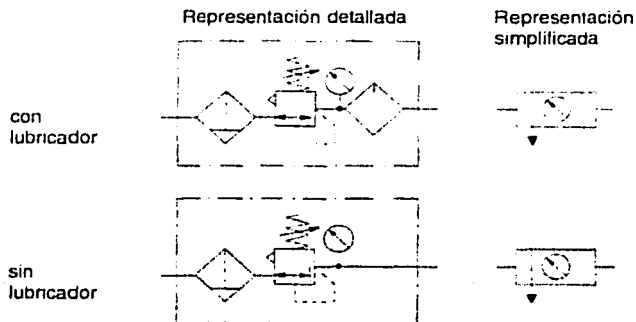


Figura 2.17: Unidad de mantenimiento: Símbolos

Cuidado de las unidades de mantenimiento

Mantenimiento que deberá efectuarse con regularidad:

- Filtro de aire:

Controlar regularmente el nivel del condensado, puesto que de ningún modo deberá permitirse que suba del nivel máximo. Si el nivel es superior al nivel máximo, es posible que el condensado sea aspirado hacia las tuberías de aire a presión. El excedente de condensado puede ser evacuado a través del grifo de purga. Además, deberá revisarse el grado de suciedad del cartucho del filtro y, si fuese necesario, deberán efectuarse los trabajos de limpieza correspondientes o proceder a su sustitución.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**CAPÍTULO 2**

---

- Regulador de aire a presión:

El regulador no precisa de mantenimiento, siempre y cuando se haya instalado delante de él un filtro de aire.

- Lubricador de aire a presión:

En este caso también es necesario controlar el nivel y, de ser necesario, rellenar aceite, solo podrán utilizarse aceites minerales. Los filtros de plástico y los vasos no deberán romperse con disolventes (tricloroetileno).

## **2.2 Actuadores e Indicadores**

Un actuador o elemento de trabajo transforma la energía en trabajo. La señal de salida es controlada por el mando y el actuador reacciona a dicha señal por acción de los elementos de maniobra. Otro tipo de equipos de emisión o de los actuadores, como pueden ser, por ejemplo, los indicadores ópticos de accionamiento neumático.

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en dos grupos según el movimiento, si es lineal o giratorio:

- Movimiento rectilíneo (movimiento lineal)
  - Cilindro de simple efecto
  - Cilindro de doble efecto

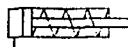


- Movimiento giratorio
  - Motor neumático
  - Actuador giratorio
  - Accionamiento oscilante

### 2.2.1 Cilindro de simple efecto

Los cilindros de simple efecto reciben aire a presión sólo en un lado. Estos cilindros sólo pueden ejecutar el trabajo en un sentido. El retroceso está a cargo de un muelle incluido en el cilindro o se produce por efecto de una fuerza externa. La fuerza del muelle hace retroceder el vástago del cilindro a suficiente velocidad, pero sin que el cilindro pueda soportar una carga.

En los cilindros de simple efecto con muelle de reposición, la carrera está definida



por la longitud del muelle. En consecuencia, los cilindros de simple efecto tienen una longitud máxima de aproximadamente 80 mm.

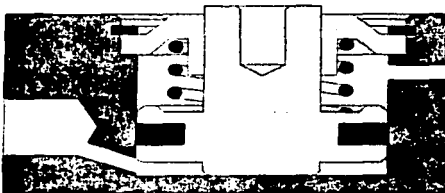


Figura 2.18: Cilindro de simple efecto

**CAPÍTULO 2**

---

Por su diseño, los cilindros de simple efecto pueden ejecutar diversas funciones de movimientos denominados de alimentación, tales como los que se mencionan a continuación:

- Entregar
- Bifurcar
- Juntar
- Accionar
- Fijar
- Expulsar

Tipos

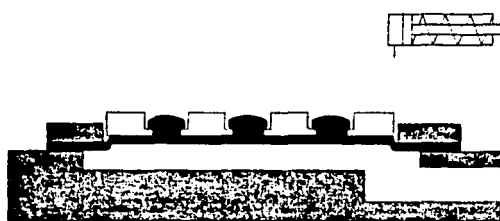
Los cilindros de simple efecto están equipados con una junta simple en el émbolo, en el lado sometido a presión. La estanqueidad de los cilindros de metal o plástico se logra utilizando un material flexible (Perbunán). Los bordes de la junta se deslizan a lo largo de la camisa del cilindro cuando éste ejecuta los movimientos.

Los cilindros de simple efecto también pueden ser de los siguientes tipos:

- Cilindros de membrana

- Cilindros de membrana enrollable

En los cilindros de membrana, una membrana de goma, de plástico o de metal hace las veces de émbolo. El vástago está fijado en el centro de la membrana. Estos



cilindros de carrera corta son utilizados para ejecutar trabajos de fijación, prensado y elevación.

Figura 2.19: Cilindro de membrana

### 2.2.2 Cilindros de Doble Efecto

El diseño de estos cilindros es similar al de los cilindros de simple efecto. No obstante, los cilindros de doble efecto no llevan muelle de reposición y, además, las dos conexiones son utilizadas correspondientemente para la alimentación y la evacuación del aire a presión. Los cilindros de doble efecto ofrecen la ventaja de poder ejecutar trabajos en ambos sentidos. Se trata, por lo tanto, de cilindros sumamente versátiles. La fuerza ejercida sobre el vástago es algo mayor en el movimiento de avance que en el retroceso porque la superficie en el lado del émbolo es más grande que en lado del vástago.

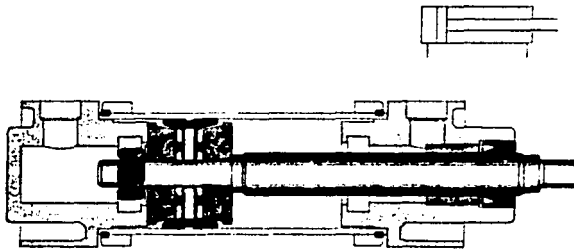


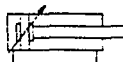
Figura 2.20:  
Cilindro de doble efecto

### Tendencias de desarrollo

Los cilindros de doble efecto tienen las siguientes aplicaciones y su desarrollo manifiesta tener las siguientes tendencias:

- Detección sin contacto – Utilización de imanes en el lado del vástago para activar contactos tipo reed
- Frenado de cargas pesadas
- Uso de cilindros sin vástago en espacios reducidos
- Uso de materiales diferentes, como por ejemplo plástico
- Recubrimiento protector contra daños ocasionados por el medio ambiente (por ejemplo, recubrimiento resistente a los ácidos)
- Mayor resistencia
- Aplicaciones en la robótica con características especiales, tales como vástago antigiro o vástagos huecos para uso de ventosas.

Si un cilindro tiene la función de mover grandes masas, los amortiguadores de final de carrera se encarga de evitar un golpe seco y, por tanto, un daño de los cilindros. Un émbolo amortiguador interrumpe la evacuación directa del aire hacia fuera antes de que el cilindro llegue a su posición de final de carrera. En vez de ello, queda abierta una salida pequeña que por lo general es regulable. La velocidad del cilindro es reducida en la última parte del movimiento de retroceso. Deberá procurarse que



los tornillos de ajuste nunca estén totalmente cerrados, ya que de lo contrario el vástago no podrá alcanzar su posición de final de carrera.

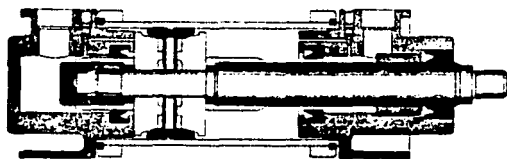


Figura 2.21: Cilindro de doble efecto con amortiguación de final de carrera

Si las fuerzas son muy elevadas y si la aceleración es considerable, deberán adoptarse medidas adicionales para solucionar el problema.

Concretamente, pueden instalarse amortiguadores externos para aumentar el efecto de frenado.

Forma correcta de frenar:

- Cerrar completamente el tornillo de ajuste
- Abrir paulatinamente el tornillo de ajuste hasta que se alcance el valor deseado.

### *2.2.3 Estructura de Cilindros*

El cilindro está compuesto de una camisa, de las culatas del fondo y de cojinete, del émbolo con la junta (retén doble), del vástago, de los casquillos de cojinete, del anillo rascador, de las piezas de unión y de las juntas.

La camisa del cilindro (1) suele ser en la mayoría de los casos de una sola pieza de acero estirado sin costura de soldadura. Las superficies interiores del cilindro suelen ser sometidas a un proceso de mecanizado fino (bruñido) con el fin de aumentar la vida útil de los elementos estanqueizantes. Para ciertas aplicaciones, la camisa del cilindro también puede ser de aluminio, de latón o de tubo de acero con superficie interior cromada. Estas versiones especiales son utilizadas si se trata de cilindros que son accionados con demasiada frecuencia i si están expuestos a corrosión.

Las culatas (2) y delantera (3) suelen ser de material fundido (aluminio o fundición maleable). Las sujeciones de ambas culatas a la camisa del cilindro pueden efectuarse mediante barras, roscas o bridas.

En la mayoría de los casos, el vástago (4) es de acero inoxidable. Las roscas suelen ser laminadas con el fin de disminuir el peligro de rotura.

Con el fin de estanqueizar el vástago, la culata correspondiente está provista de una ranura anular (5). El vástago es guiado por el casquillo de cojinete (6), que es de bronce sinterizado o de material plástico.

Delante del casquillo de cojinete está situado el anillo roscador (7), mediante el cual se evita que penetren partículas de polvo o de suciedad en la cámara del cilindro. En consecuencia no es necesario instalar un guardapolvos.

Materiales utilizados en el retén (8):

Perbunán	para $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta	+ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Vitón	para $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta	+ $150\text{ }^{\circ}\text{C}$
Teflón	para $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta	+ $200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Las juntas tóricas (9) se encargan de la estanqueidad estática.

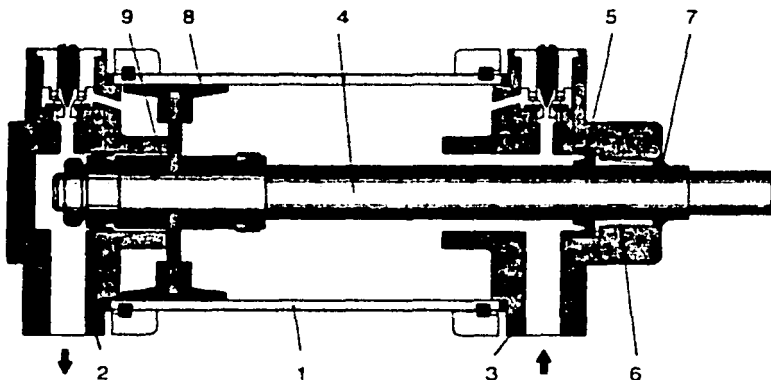
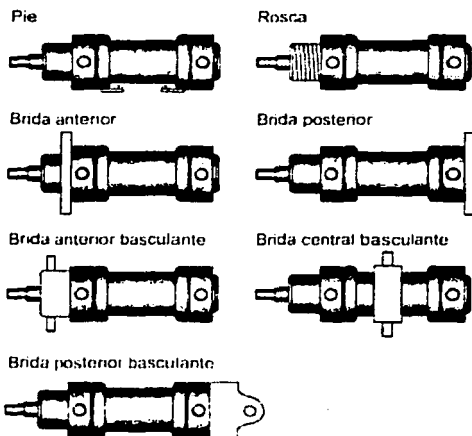


Figura 2.22: Sección de un cilindro con amortiguación de final de carrera

### Tipos de Sujeción

El tipo de sujeción depende de la forma en la que esté montado el cilindro en los equipos y máquinas. Los cilindros pueden venir de fábrica de tal modo que sean montados de una determinada manera, o también es posible recurrir a piezas adicionales para sujetarlos de otra de otra forma. Este método de sujeción variable mediante piezas modulares permiten simplificar el almacenamiento de los cilindros, especialmente si su montaje está previsto en sistemas neumáticos de mayor envergadura puesto que se puede recurrir a un solo tipo de cilindro básico que posteriormente es cambiado con las piezas de sujeción necesarias en cada caso.





El tipo de sujeción del cilindro y el acoplamiento del vástago tiene que elegirse cuidadosamente, ya que los cilindros sólo pueden ser sometidos a un esfuerzo axial.

Figura 2.23: Tipos de sujeciones de cilindros

En el momento en que la fuerza es transmitida a la máquina, el cilindro se somete a los esfuerzos correspondientes. Si las adaptaciones y los ajustes en el vástago son incorrectos, deberá contarse con el surgimiento de esfuerzos indebidos en la camisa y en el émbolo del cilindro. Las consecuencias serían las siguientes:

- Fuertes presiones laterales que inciden en los casquillos de cojinete, con el consecuente desgaste precoz
- Fuertes presiones laterales en los cojinetes de guía del vástago
- Esfuerzos elevados y desiguales en los vástagos y las juntas de los cilindros

**CAPÍTULO 2**

---

- En los cilindros con carreras grandes deberán tenerse en cuenta la carga de pandeo sobre el vástago

*2.2.4 Propiedades de los Cilindros*

El rendimiento de un cilindro puede ser calculado teóricamente o recurriendo a los datos ofrecidos por el fabricante. Si bien ambos métodos son correctos, cabe anotar que los datos ofrecidos por el fabricante suelen ser más informativos para una versión y aplicación específica.

Fuerza del émbolo

La fuerza ejercida por el émbolo de un cilindro depende de la presión del aire, del diámetro del cilindro y de la resistencia por fricción de los elementos estanqueizante. Para calcular la fuerza teórica de un émbolo deberá recurrirse a la siguiente fórmula:

$$F_{te} = A \cdot p$$

$F_{te}$  = Fuerza teórica del émbolo (N)

$A$  = Superficie útil del émbolo ( $m^2$ )

$p$  = Presión de trabajo (Pa)

La fuerza del émbolo es de importancia para la práctica. Para calcular debe tenerse en cuenta la resistencia por fricción. En circunstancias normales de funcionamiento (gama de presiones de 400 a 800 kPa / de 4 a 8 bar) pueden aceptarse fuerzas por fricción con aprox. un 10 % de la fuerza del émbolo teórica.

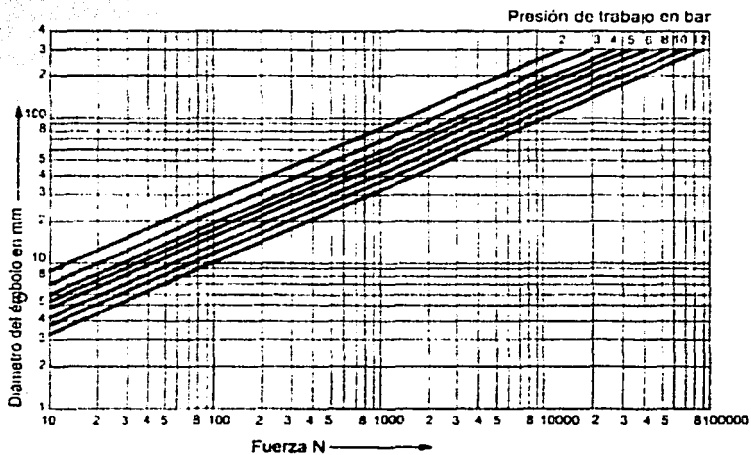


Figura 2.24: Diagrama presión-fuerza

Cilindro de simple efecto

$$F_{ef} = (A \cdot p) - (F_R + F_M)$$

## Cilindro de doble efecto

Carrera de avance  $F_{ef} = (A \cdot p) - F_R$

Carrera de retroceso  $F_{er} = (A' \cdot p) - F_R$

$F_{ef}$  = Fuerza del émbolo efectiva (N)

$A$  = Superficie útil del émbolo ( $m^2$ )

$$= \left( \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \right)$$

$A'$  = Superficie útil anular del émbolo ( $m^2$ )

$$= (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4}$$

$p$  = Presión de trabajo (Pa)

$F_R$  = Fuerza de fricción (aprox. 10% de  $F_{er}$ ) (N)

$F_M$  = Fuerza del muelle recuperador (N)

$D$  = Diámetro del cilindro (m)

$d$  = Diámetro del vástago (m)

**CAPÍTULO 2**

Carrera

La carrera de los cilindros neumáticos no debería exceder de 2 m ; tratándose de cilindros sin vástago, la longitud máxima no debería ser superior a 10 m.

Las carreras demasiado largas significan un esfuerzo demasiado grande para el vástago y el cojinete guía. Para evitar el peligro de pandeo, deberá tenerse en cuenta en carreras largas el diagrama de pandeo.

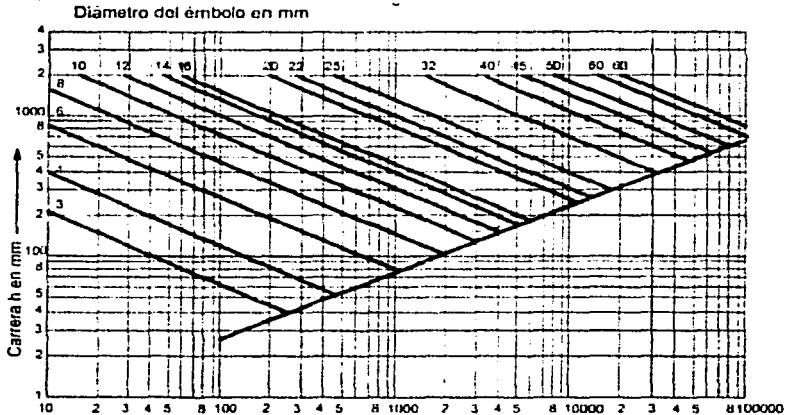


Figura 2.25: Diagrama de pandeo

ESTA TESTA NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

### Velocidad del émbolo

La velocidad del émbolo de los cilindros neumáticos dependen de la contra fuerza, de la presión de aire, de la longitud de los conductos, de la sección entre la unidad de maniobra y de trabajo y, además, del caudal de la válvula de maniobra. La amortiguación de final de carrera también incide en la velocidad.

La velocidad media de los émbolos de cilindros estándar oscila entre aproximadamente 1.5 y 1.5 m / s, con cilindros especiales (cilindros de impacto) pueden alcanzarse velocidades de hasta 10 m / s. La velocidad de los cilindros puede ser reducida mediante válvulas de estrangulación y antirretorno, y para aumentarla deberá recurrirse a sistemas de escape rápido.

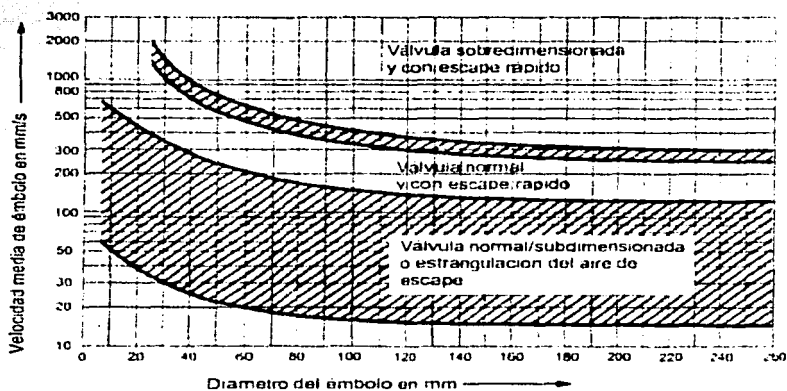


Figura 2.26: Velocidad media de los émbolos sin carga

Consumos de aire

Para conocer los detalles relacionados con la alimentación de aire a presión y para calcular los costos respectivos, es importante saber cuanto aire consume la red neumática. El consumo de aire se indica en litros de aire aspirado por minuto. En valores determinados para la presión de aire, el diámetro del émbolo, la carrera y número de carreras por minuto, el consumo de aire puede calcularse de la siguiente manera:

Consumo de aire = Relación de compresión • Superficie del émbolo • Carrera •  
Número de carreras por minuto

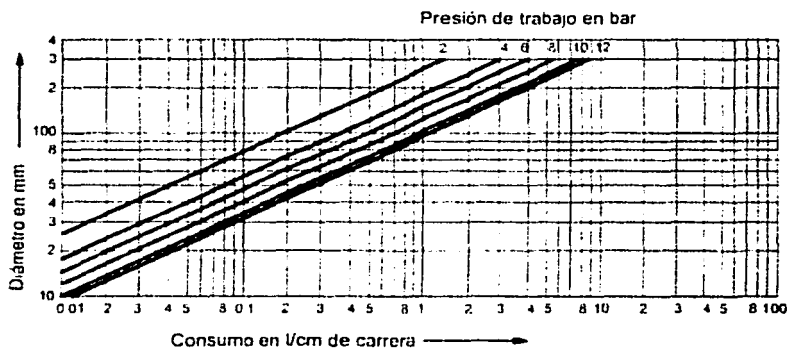


Figura 2.27: Diagrama consumo de aire

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101.3 + \text{Presión de trabajo (en kPa)}}{101.3}$$

Las fórmulas para el calcular el consumo de aire según el diagrama son las siguientes:

para cilindros de simple efecto

$$q_B = s \cdot n \cdot q_H$$

para cilindros de doble efecto

$$q_B = 2 \cdot s \cdot n \cdot q_H$$

$q_B$  = Consumo de aire (l / min)

$s$  = Carrera (cm)

$n$  = Número de carreras por minuto (l / min)

$q_H$  = Consumo de aire por cada cm de carrera (l / cm)

En estas fórmulas no se tiene en cuenta el distinto consumo de aire de los cilindros de doble efecto con carrera de avance y de retroceso. Debido a diferentes tolerancias en los conductos y válvulas pueden despreciarse.



## CAPÍTULO 2

Del consumo total de aire de un cilindro forma parte también el llenado de los espacios muertos. El consumo de aire para el llenado de los espacios vacíos puede significar hasta el 20 % del consumo de aire de trabajo. Los espacios muertos de un cilindro son conductores de aire a presión en el propio cilindro y no los espacios útiles para la carrera en las presiones finales del émbolo.

Diámetro del émbolo en mm	Lado de la culata en $\text{cm}^3$	Lado del fondo en $\text{cm}^3$	Diámetro del émbolo en mm	Lado de la culata en $\text{cm}^3$	Lado del fondo en $\text{cm}^3$
12	1	0.5	70	27	31
16	1	1.2	100	80	88
25	5	6	140	128	150
35	10	13	200	425	448
50	16	19	250	2005	2337

Tabla 2.1: Espacios muertos de cilindros ( $1000 \text{ cm}^3 = 1$ )

## 2.3 Válvulas de Vías

### 2.3.1 Tipos

Las válvulas de vías son dispositivos que influyen en el “paso”, el “bloqueo” y la “dirección” de un flujo del aire. El símbolo de las válvulas informa sobre la cantidad de conexiones, la posición de conmutación y sobre el tipo de accionamiento. Sin embargo, los símbolos nada indican sobre la composición de las válvulas, limitaciones a mostrar su función.

La posición inicial de una válvula equipada con un sistema de reposición (que puede ser, por ejemplo, un muelle) se refiere a la posición que ocupan las piezas móviles de la válvula cuando no está conectada.

La posición normal de una válvula es aquella que se refiere al estado en el que se encuentran las piezas móviles de la válvula montada en un sistema neumático cuando se conecta la alimentación de presión de la red neumática o, cuando corresponda, eléctrica. Es decir, se trata de la posición a partir de la cual empieza a ejecutarse el programa de mando.

**CAPÍTULO 2**

---

El diseño de una válvula es un criterio importante para su vida útil, sus tiempos de conmutación, su tipo de accionamiento, sus sistemas de conexión y su tamaño.

Diseños de válvulas:

- Válvula de asiento
  - Válvula de asiento de bola
  - Válvula de asiento de plato
  
- Válvula de corredera
  - Válvula de corredera longitudinal (Válvula de émbolo)
  - Válvula de corredera longitudinal plana
  - Válvula de plato giratorio

### Válvulas de asiento

En el caso de las válvulas de asiento, los pasos son abiertos o cerrados mediante bolas, platos, discos o conos. Las válvulas de asiento suelen llevar juntas de goma que hacen las veces de asiento. Estas válvulas apenas tiene piezas que puedan desgastarse y, en consecuencia, tienen una vida útil larga. No son sensibles a la suciedad y son muy resistentes. No obstante, requieren de una fuerza de

accionamiento relativamente grande, ya que tiene que superar la fuerza del muelle de recuperación y de la presión del aire.

### Válvulas de corredera

En el caso de las válvulas de corredera, dos conexiones son unidas o cerradas mediante correderas cilíndricas, planas o circulares.

#### *2.3.2 Válvulas de 3/2 vías*

Las válvulas 3/2 vías permiten activar o desactivar señales. Las válvulas de 3/2 vías tienen tres conexiones y dos posiciones. La tercera conexión 3(R) permite la evacuación de aire del conductor transmisor de la señal. Un muelle presiona una bola contra un asiento de válvula, y el paso de la conexión que recibe presión 1(P) hacia el conducto de trabajo 2 (A) queda bloqueado. La conexión 2 (A) se evacua a lo largo del vástago que abre el paso hacia la conexión 3 (R).

El vástago se encarga de separa la bola de su asiento. Al efectuar esta operación, es necesario superar la fuerza que ejerce el muelle de reposición y además, la fuerza de presión.

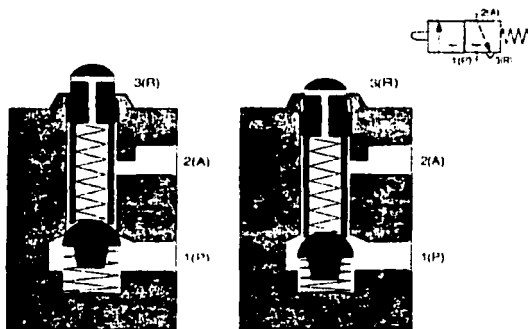


Figura 2.28: Válvula de 3/2 vías, cerrada en reposo, asiento de bola

Si las válvulas están en estado activado, están unidas las conexiones 1 (P) y 2 (A) y la válvula abre el paso. Estas válvulas son accionadas manualmente o mecánicamente. La fuerza necesaria para su accionamiento depende de la presión de alimentación y de la fricción en la válvula misma. Estas circunstancias significan una limitación de los posibles tamaños de este tipo de válvulas. El diseño de las válvulas de asiento de bola es sencillo y compacto.

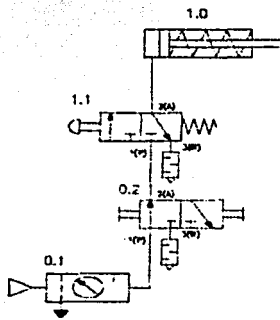
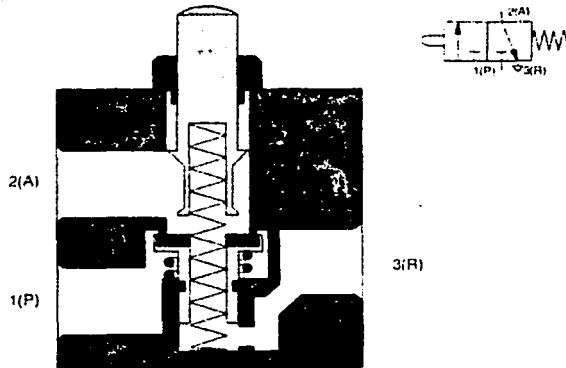


Figura 2.29: Esquema: Accionamiento de un cilindro de simple efecto

En el esquema que se muestra en esta página, el cilindro de simple efecto es accionado por la válvula de 3/2 vías 1.1. La válvula, que es accionada

manualmente con un pulsador, se encuentra en estado normal de bloqueo. La conexión 1 (P) está bloqueada y la evacuación de aire del cilindro se efectúa a través del paso de 2(A) hacia 3(R). Oprimiendo el pulsador, el aire a presión puede pasar de 1(P) hacia 2(A), con lo que el émbolo del cilindro avanza superando la fuerza del muelle de reposición. Si se suelta el pulsador, la válvula conmuta por la acción de su muelle de reposición y, en consecuencia, el cilindro retrocede hasta su posición de final de carrera posterior por acción de la fuerza que ejerce su muelle de reposición.

Figura 2.30: Válvula de 3/2 vías, cerrada en reposo, asiento de plato, inactiva



Esta válvula tiene un diseño tipo válvula de plato. La junta es simple y efectiva. El tiempo de respuesta es breve y un pequeño movimiento es suficiente para abrir un paso de grandes dimensiones para el aire a presión. Al igual que las válvulas de asiento de bola, ésta también son resistentes a la suciedad y, en consecuencia, tiene

una vida útil larga. Las válvulas de 3/2 vías son utilizadas para mandos equipados con cilindros de simple efecto o para el accionamiento de elementos de mando.

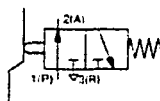
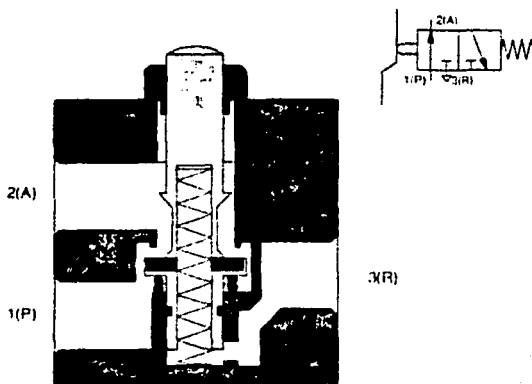


Figura 2.31: Válvula de 3/2 vías, cerrada en reposo, asiento de plato, activa

Si la válvula abre el paso en reposo, la conexión 1(P) hacia 2(A) está abierta en dicha posición. El asiento de plato cierra la conexión 3(R). El vástago, al ser activado, bloquea la conexión de aire a presión 1(P), con lo que el plato se separa del asiento. En consecuencia, el aire puede ser evacuado pasando desde 2(A) hacia 3(R). Si se deja de actuar sobre el vástago, el émbolo de la válvula vuelve con los dos asientos de válvula a su posición normal por acción del muelle de reposición. En este estado, el aire a presión pasa nuevamente de 1(P) hacia 2(A).

## CAPÍTULO 2

Estas válvulas pueden ser accionadas manual, mecánica, eléctrica o neumáticamente. El tipo de accionamiento depende de los requisitos que plantee el mando neumático.

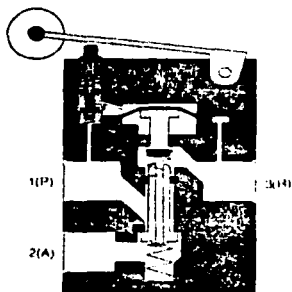


Figura 2.32: Válvula de 3/2 vías con rodillo, servopilotada, cerrada en reposo

### Válvula de accionamiento por rodillo basculante de marcha en vacío en retroceso

La válvula de rodillo con leva basculante de marcha en vacío en retroceso sólo conmuta si el movimiento de la leva del rodillo procede de una dirección determinada. Esta válvula es utilizada como interruptor de final de carrera para consultar la posición del vástago del cilindro, ya sea en posición de final de carrera después de avanzar o después de retroceder. Deberá tenerse en cuenta que el rodillo basculante debe estar instalado correctamente en relación con la dirección del movimiento.



**CAPÍTULO 2**

---

Este tipo de válvula también puede ser utilizado alternativamente como abierta o cerrada en reposo. Con ese fin simplemente deberán invertirse las conexiones 1(P) y 3(R). La cabeza de la válvula con la unidad del rodillo basculante puede ser girada en 180°.

### *2.3.3 Válvula de 5/2 vías*

Las válvulas de 5/2 vías tienen cinco conexiones y dos posiciones. Estas válvulas son utilizadas principalmente como elementos de maniobra para el accionamiento de cilindros. La válvula de corredera longitudinal es un empleo de válvulas de 5/2 vías. En su calidad de elemento de mando, estas válvulas tienen un émbolo de mando que se encarga de unir o separar los conductos correspondientes efectuando movimientos longitudinales. Se necesita poca fuerza para el accionamiento por que no es necesario superar la resistencia del aire comprimido o de muelle (método de bola o de plato). En el caso de las válvulas de corredera longitudinal, es posible aplicar todos los tipos de accionamiento, ya sean manuales, mecánicos, eléctricos o neumáticos. Estos mismos tipos de accionamiento pueden también ser utilizados para movimientos de reposición.

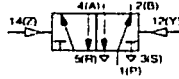
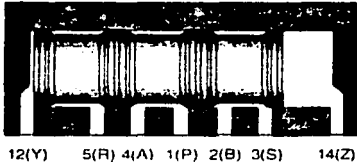
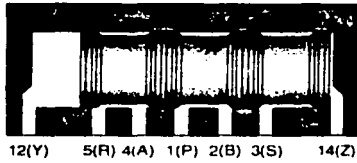


Figura 2.33:

Válvula de  
impulsos de 5/2  
vías, sistemas de  
corredera  
longitudinal

En estas válvulas, el recorrido de la operación de la operación de accionamiento es considerablemente mayor que en el caso de las válvulas de asiento. Estas versión de válvulas de corredera ofrece problemas de estanqueidad. Las conexiones de “metal sobre metal”, conocidas en la hidráulica, exigen tolerancias mínimas de corredera en relación con el taladro en el cuerpo de la válvula.

Tratándose de válvulas neumáticas, la holgura entre la corredera y el taladro del cuerpo de la válvula no debería ser mayor a 0.002- 0.004 mm, puesto que de lo contrario las fugas serían demasiado grandes. Para evitar los gastos que significarían una fabricación de las piezas con esa precisión, se utilizan juntas teóricas y retenes de los cilindros y juntas teóricas en el cuerpo de la válvula. Para evitar daños en las

zonas de las conexiones, es posible repartir los elementos de estanqueidad a lo largo de toda la camisa del cilindro.

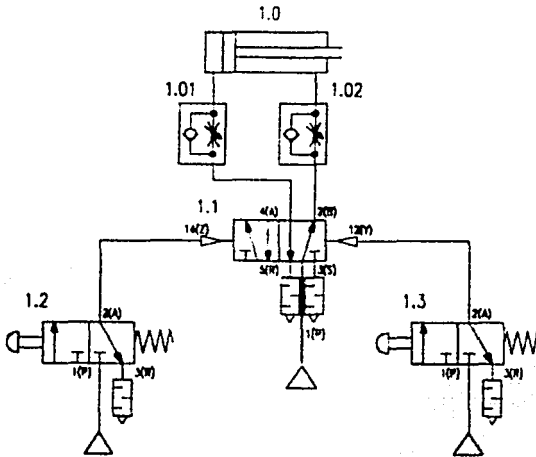


Figura 2.34:  
Accionamiento  
indirecto de un cilindro  
de doble efecto

Las válvulas de 5/2 vías son utilizadas con frecuencia en sustitución de válvulas de 4/2 vías. Las válvulas de 5/2 vías permiten la evacuación por dos conexiones separadas al avanzar o retroceder el cilindro. No obstante, las funciones de mando de las válvulas de 4/2 vías y de 5/2 vías son fundamentalmente las mismas.

Otro método de estanqueidad consiste en utilizar una junta de plato suspendido con movimientos de conmutación relativamente pequeños. La junta de asiento une la conexión 1(P) con 2(B) o con 4(A). Las juntas secundarias del émbolo unen las

CAPÍTULO 2

conexiones de evacuación de aire con las conexiones de escapa. La válvula tiene en ambos lados una unidad de accionamiento manual para controlar el movimiento del émbolo.

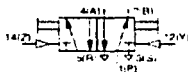
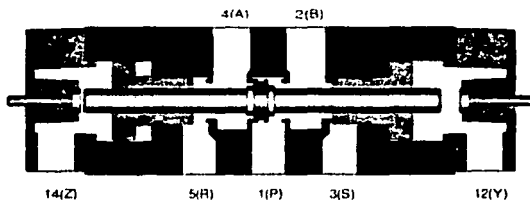
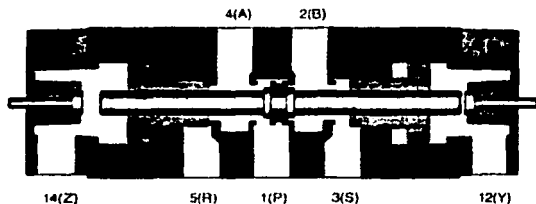
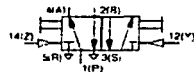


Figura 2.35: Válvula de impulso de 5/2 vías, válvula de asiento, paso abierto de 1 a 2



Las válvulas neumáticas de impulso de 5/2 vías tienen la capacidad de memoria. La válvula conmutada de conexión 14(Z) a conexión 12(Y) por efecto de señales neumáticas alternativas. Al retirarse la señal, la posición se mantiene hasta que la válvula reciba una señal contraria.

Figura 2.36: Válvula de impulso de 5/2 vías, válvula de asiento, paso abierto de 1 hacia 4



## CAPÍTULO 2

## 2.3.4 Caudales de válvulas

La pérdida de presión y el volumen de aire en las válvulas neumáticas son datos importantes para el usuario. La selección de la válvula depende:

- del volumen y la velocidad del cilindro,
- de la frecuencia de conmutación requerida,
- de la caída de presión admisible.

Las válvulas neumáticas son identificadas por su caudal nominal. Para calcular los caudales se tienen en cuenta diferentes factores. Estos factores son:

$p_1$  Presión en la entrada de la válvula (kPa o bar)

$p_2$  Presión en la salida de la válvula (kPa o bar)

$\Delta p$  Diferencia de presión ( $p_1 - p_2$ ) (kPa o bar)

$T_1$  Temperatura (K)

$q_n$  Caudal nominal (l / min)

en la medición se aplica aire a la válvula en una dirección. Se mide la presión de entrada y la presión de salida. Mediante un caudalímetro se mide el caudal del aire.

**CAPÍTULO 2**

---

Los datos referentes a los valores de caudal nominal pueden encontrarse en los catálogos de los fabricantes.

### *2.3.5 Funcionamiento fiable de las válvulas*

#### El montaje de válvulas de rodillo:

La fiabilidad de un sistema de mando depende fundamentalmente de la instalación correcta de los interruptores de final de carrera. Los interruptores de final de carrera tienen que estar diseñados de tal manera que pueden ser ajustados y adaptados con facilidad en cualquier momento. Esto es importante para coordinar de modo preciso los movimientos de los cilindros instalados en un sistema de mando.

Para mayor facilidad de los trabajos de mantenimiento y de reparación, deberá considerarse lo siguiente:

- Numerar los componente
- Instalar indicadores ópticos
- Preparar una documentación completa

las válvulas manuales para la entrada de señales suelen estar instaladas en el tablero o panel de mandos. En consecuencia es práctico y útil recurrir a válvulas que están

equipadas con elementos de accionamiento que puedan ser instalados directamente en el elemento de base. Existe una gran variedad de tipo de accionamiento, entre los que se puede escoger la más adecuada para cumplir con las funciones de entrada de señales.

Las válvulas, en su calidad de elementos de mando, se encargan de controlar la ejecución de secuencias neumáticas. Dichas válvulas deberán estar diseñadas de tal manera que provoquen una respuesta lo más rápida posible de los actuadores. Ello significa que las válvulas deberían estar instaladas lo más cerca posible de dichos actuadores con el fin de que las tuberías sean lo más cortas posibles y para que los tiempos de conmutación sean lo más breves posibles. En el caso ideal, la válvula debería conectarse directamente al actuador. De este modo se ahorraría material y tiempo de montaje.

## **2.4 Válvulas de Cierre, de Caudal y Presión, Combinaciones de Válvulas**

### *2.4.1 Válvulas de cierre*

Las válvulas de cierre bloquean el paso en una dirección y lo abren en la dirección contraria. La presión en el lado de la salida ejerce una fuerza sobre el lado que bloquea y, por lo tanto, apoya el efecto de estanqueidad de la válvula.

Válvula de simultaneidad: función lógica Y

La válvula de simultaneidad tiene dos entradas, X e Y, y una salida a. El paso solamente está abierto si recibe una señal en ambas entradas. Una señal de entrada en X o Y bloquea el paso a raíz de la diferencia de fuerzas en la corredera del cilindro. Si la señales de entrada no son recibidas simultáneamente, la última señal que llega pasa a la salida. Si las señales de entrada tienen una presión más grande cierra la válvula, con lo que la presión más pequeña pasa a la salida A. La válvula de simultaneidad es utilizada principalmente en mandos de bloqueo, funciones de control o enlaces lógicos.

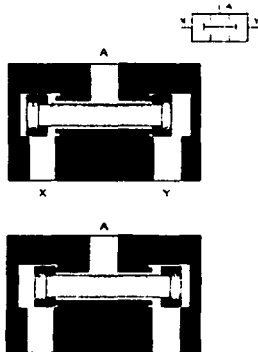
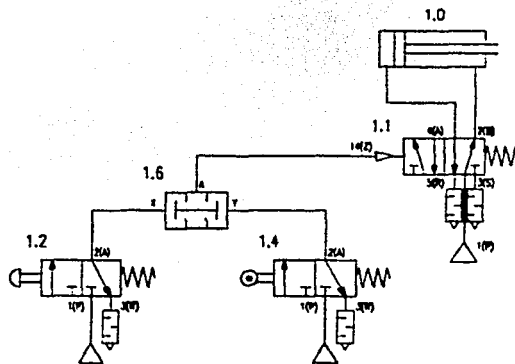


Figura 2.37: Válvulas de simultaneidad: Función Y

Figura 2.38: Esquema de distribución con válvula de simultaneidad





## CAPÍTULO 2

La inclusión de una válvula de simultaneidad en un esquema de distribución corresponde a la instalación de dos transmisores de señales (válvulas de 3/2 vías de posición normal bloqueada) en paralelo o en serie. Solo se transmite una señal si ambas válvulas están activadas.

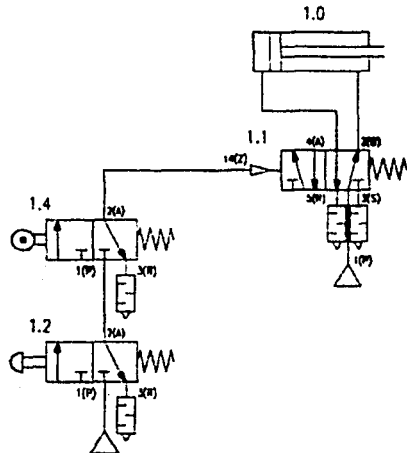
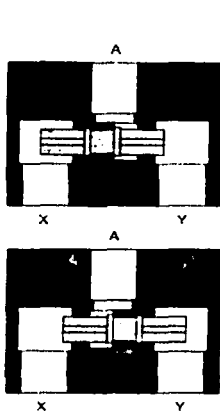


Figura 2.39: Esquema de distribución: Función Y en serie

Una característica de esta variante de conexión es que en la práctica se obtienen a menudo unos conductos muy largos entre las válvulas. Tampoco puede utilizarse la señal de la válvula 1.4 para otros enlaces de señales, ya que la válvula 1.4 únicamente recibe presión cuando la válvula 1.2 está activada.

Válvula selector: función lógica O

Estas válvulas de cierre tienen dos entradas, X e Y, y una salida A. Si la entrada X



recibe presión, el émbolo cierra la entrada Y, con lo que el aire pasa de X hacia A. Si el aire pasa de Y hacia A, queda bloqueada la entradas X. Cuando se produce un reflujo de aire del cilindro o de la válvula instalada detrás, el émbolo mantiene su posición anterior debido a las presiones existentes en ese caso. Esta válvula también es denominada elemento "O".

Fig 2.40: Válvula selector: Función O

Si un cilindro o una válvula de mando ha de accionarse desde dos o más lugares, siempre deberán utilizarse una o varias válvulas selectoras.

El siguiente esquema muestra el mando de un cilindro a través de dos válvulas manuales que pueden estar instaladas a diferentes distancias del cilindro. Si se activara la válvula 1.2 sin aplicación de la válvula selector, el aire a presión pasaría principalmente a través de la conexión 3(R) de la válvula 1.4.

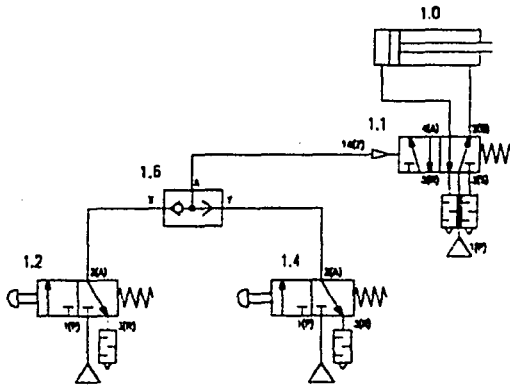
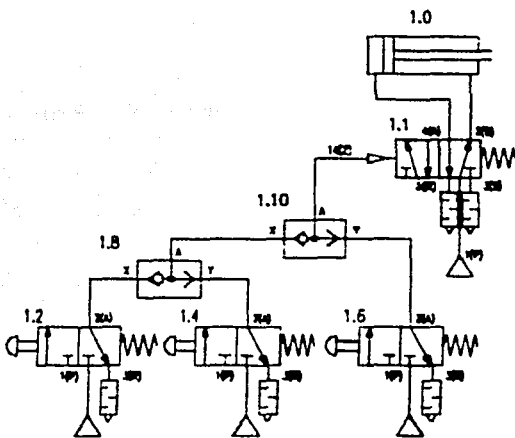


Figura 2.41:

Accionamiento de un cilindro con dos transmisores de señales



Las válvulas selectoras pueden conectarse entre sí para obtener una condición O adicional, tal como se muestra en el esquema inferior. Cualquiera de las tres válvulas provistas de pulsador pueden activarse para que el cilindro avance.

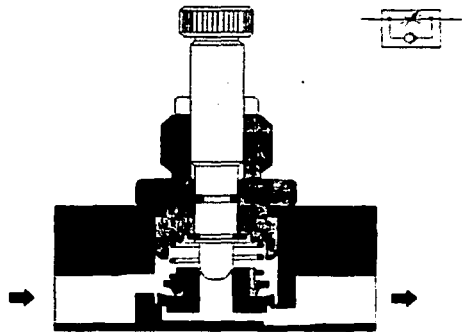
Fig 2.42: Accionamiento de un cilindro con tres transmisiones de señales

### 2.4.2 Válvulas de caudal

#### Válvula de estrangulación y antirretorno

La válvula de estrangulación y antirretorno reduce el caudal de aire solamente en un sentido. La válvula de antirretorno cierra el paso del aire en un sentido y el aire sólo puede pasar a través de la sección regulada. El aire puede pasar libremente en la dirección contraria a través de la válvula de antirretorno abierta. Estas válvulas son utilizadas para regular la velocidad de cilindros neumáticos. Es recomendable instalar lo más cercanas posible a los cilindros.

Figura 2.43: Válvula de estrangulación y antirretorno



Tratándose de cilindros de doble efecto, existe fundamentalmente dos tipos de estrangulación:

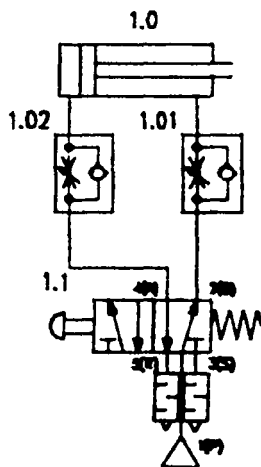
- Estrangulación de la entrada de aire

## CAPÍTULO 2

- Estrangulación de la salida de aire

### Estrangulación de la alimentación de aire

En el caso de la estrangulación del aire de alimentación se reduce el flujo de aire hacia el cilindro. El aire de evacuación puede pasar libremente atravesando la válvula de antirretorno. Cualquier oscilación de la carga que actúa sobre el cilindro, por más mínima que sea (por ejemplo al topar con un interruptor de final de carrera), provoca considerables oscilaciones de la velocidad de avance.



Una carga en dirección de movimiento del cilindro acelera el cilindro sobrepasando el valor ajustado. En consecuencia, la estrangulación de la alimentación de aire solamente se aplica en cilindros pequeños de simple efecto.

Figura 2.44: Estrangulación de la entrada de aire

Estrangulación del aire de escape

En el caso de la estrangulación del aire de salida, el aire tiene el paso libre hacia el cilindro, mientras que el paso en el conducto de salida es reducido, ofreciéndose una resistencia al aire evacuado. El émbolo está expulsado a la presión del aire de alimentación que es generada por la resistencia que ofrece la estrangulación en el conducto de salida. Esta configuración de las válvulas de estrangulación y antirretorno contribuye esencialmente a mejorar las características del avance de los cilindros. Tratándose de cilindros de doble efecto es recomendable instalar siempre un estrangulador para el aire de escape. En los cilindros pequeños es recomendable una estrangulación de la alimentación del aire de escape, debido a la poca cantidad de aire.

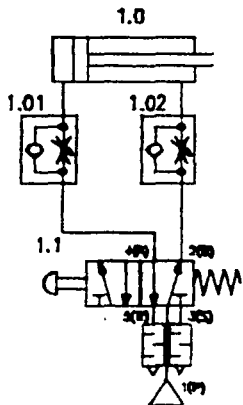


Figura 2.45: Estrangulación de la salida de aire

### Válvulas de presión

Las válvulas de presión son elementos que se encargan de regular la presión o que son controladas por la presión. Concretamente pueden diferenciarse los siguientes tres grupos:

- Válvulas reguladoras de presión
- Válvulas limitadoras de presión
- Válvulas de secuencia

en el capítulo B2.6 “Unidades de mantenimiento”, se ofrece una explicación detallada sobre las válvulas reguladoras de presión. Estas válvulas son utilizadas para mantener una presión constante, incluso si oscilase la presión en la red neumática. La presión mínima de entrada tiene que ser mayor que la presión de salida.

## **2.5 NEUMÁTICA AVANZADA (Métodos de diseño)**

### **2.5.1 MÉTODO CASCADA**

1.- Elaborar el croquis de situación.

**CAPÍTULO 2**

---

- 2.- Realizar el diagrama de movimientos ó espacio-fase.
- 3.- Establecer la ecuación de movimientos.
- 4.- Descomponer la ecuación de movimientos en grupos, de tal forma que un mismo grupo no contenga movimientos complementarios de un mismo cilindro.
- 5.- Determinar e indicar sensores para cada inicio y fin de carrera de cada actuador en la ecuación anterior.
- 6.- Dibujar a los cilindros y a las válvulas de mando, con sus correspondientes finales de carrera.
- 7.- Dibujar tantas líneas de presión como grupos existan.
- 8.- Dibujar tantas válvulas de memoria 4/2 ó 5/2 como grupos existan -1 debajo de las líneas de presión de alimentación de grupos.
- 9.- Conectar las memorias en serie de tal manera que cada señal de entrada provoque la conexión del grupo correspondiente y a la vez, emita una señal para desactivar al grupo inmediato anterior.
- 10.- Al inicio del ciclo se deberá tener presión en el último grupo donde finaliza el ciclo.
- 11.- La última válvula de señal de cada grupo (válvulas de cambio de grupo) debe de provocar el cambio al grupo siguiente (estas válvulas se dibujan debajo de las líneas de energía), por lo que su señal de salida se aplicará al pilotaje correspondiente del arreglo en cascada, para realizar dicho cambio de grupo. La alimentación de estas válvulas proviene del grupo al que pertenecen.



**CAPÍTULO 2**

---

- 12.- Los pilotajes que mandan los primeros movimientos de cada grupo, tomarán energía de manera directa del grupo al que pertenecen.
- 13.- Las válvulas de señal que no provocan un cambio de grupo (válvulas de grupo), se dibujarán arriba de las líneas de presión de grupos y tomarán energía del grupo al que pertenecen.

*Nota:* Para evitar caídas de presión, este método sólo es recomendable hasta 5 grupos como máximo, (debido a la cantidad de válvulas de memoria empleadas).

### 2.5.2 MÉTODO PASO A PASO

- 1.- Elaborar un croquis de situación.
- 2.- Realizar el diagrama de movimientos.
- 3.- Establecer la ecuación de movimientos.
- 4.- Descomponer la secuencia en grupos de tal forma que no se encuentren movimientos complementarios de un mismo cilindro en ese mismo grupo (Método paso a paso mínimo).
  - 4a. - Descomponer la secuencia en grupos de tal forma que cada paso sea considerado como un grupo de energía para aplicar el Método Paso a paso máximo.

**CAPÍTULO 2**

---

- 5.- Determinar sensores para cada inicio y fin de carrera de cada cilindro en la ecuación anterior.
- 6.- Dibujar cilindros y válvulas de mando, con sus correspondientes finales de carrera.
- 7.- Dibujar tantas líneas de energía como grupos existan.
- 8.- Dibujar debajo de estas líneas, tantas memorias 3/2 de tal forma que cada una de ellas conecte a un grupo y tomando todas ellas su alimentación de la línea de alimentación general.
- 9.- Dibujar módulos "Y" de tal forma que las salidas de éstos conecten las entradas "Z" de las válvulas de memoria 3/2 N.C.
- 10.- Una señal de entrada sobre un módulo "Y" provoca la activación de la memoria con 3 funciones:
  - a) Provocar un movimiento de trabajo
  - b) Preparar el paso siguiente
  - c) Desactivar el paso anterior

Finalmente, se desarrollará el circuito en base a la secuencia.

- Al inicio se tendrá energizado el último grupo.

**CAPÍTULO 2**

- La última válvula de señal del grupo debe mandar el cambio de grupo; estas válvulas se dibujan debajo de las líneas de energía de grupo y toman energía de la línea de presión general.
- Los pilotajes que mandan los primeros movimientos de cada grupo, tomarán energía de manera directa del grupo al que pertenecen.
- Las válvulas de señal que no hacen cambio de grupo, se dibujarán arriba de las líneas de presión de grupos y tomarán señal del grupo en que se encuentran al ser accionadas.

*Nota:* Este método es recomendable para cuando se tienen tres ó más grupos de energía.

### 2.5.3 CADENAS DE SECUENCIAS

#### PASO A PASO EN CADENAS SECUENCIALES

En primer lugar hay que distinguir entre dos tipos de módulos:

##### 1) Módulo tipo "A"

El módulo "A" (Ver apéndice) recibe a través del empalme Yn una señal de entrada, que activa la memoria. Con ello queda:

**CAPÍTULO 2**

---

- a) emitida la señal de salida A
- b) preparada para el siguiente paso la entrada del órgano Y (ejecutado como válvula 3/2)
- c) activada la indicación de presión de la señal de salida ó piloto
- d) borrada a través del empalme Zn la memoria del módulo precedente

Tan pronto como el empalme X recibe una señal, como por ejemplo, la señal de respuesta de que la orden de maniobra emitida por la señal A está cumplida, la condición en el órgano Y y el módulo subsiguiente quedan activados. De este modo la cadena secuencial queda transferida paso a paso.

## 2) Módulo tipo "B"

Esta subunidad es siempre la última en una cadena rítmica. En contraposición al módulo tipo "A" queda activado el módulo tipo "B" (Ver apéndice) por la señal "borrar" ó "reset", es decir, la salida A del módulo "B" lleva una señal. De este modo existe esta señal en la posición inicial de la cadena rítmica para el bloqueo del arranque.

Una señal en el empalme Yn activa la memoria a través del órgano O, con ello queda:

**CAPÍTULO 2**

---

- a) activada la señal de salida A
- b) preparada la entrada del órgano Y (ejecutado como válvula 3/2)
- c) activada la indicación de presión de la señal de salida ó piloto
- d) borrada, a través del empalme Zn, la memoria del paso precedente.

Tan pronto como el empalme X recibe la señal de respuesta de la orden de maniobra, emitida por la salida A, está cumplida la condición en el órgano Y y en la salida  $Y_{n+1}$  aparece una señal I.

Esta señal con la información "posición base" constituye la preparación de MARCHA para el primer escalón, es decir, función Y para el primer escalón está integrada constructivamente al último escalón.

*Nota:* A través del empalme L puede efectuarse el ajuste de la cadena rítmica, o sea borrar las subunidades tipo "A" y activar la subunidad tipo "B".

Cabe hacer la observación de que siempre en un arreglo por cadena secuencial, el último módulo es uno del tipo TAB.

# **ELECTRONEUMÁTICA**

---

## **CAPITULO 3**

Las combinaciones de electricidad y neumática se usan frecuentemente en máquinas e instalaciones. La principal aplicación de los sistemas electroneumáticos se encuentra en aquellos casos en los que el aire comprimido se usa como fuente de energía con la ayuda de cilindros, mientras que los distribuidores son accionados eléctricamente.

Al principio, la combinación de aire y electricidad se miraba con un cierto recelo, debido a razones que actualmente carecen de fundamento.

**CAPÍTULO 3**

---

En los casos donde existe un gran peligro de incendio o explosiones, ambientes mojados, altas temperaturas, radiaciones, campos magnéticos, etc.- se prefiere el uso exclusivo de la neumática.

Como argumentos para la utilización del mando eléctrico se pueden citar los siguientes:

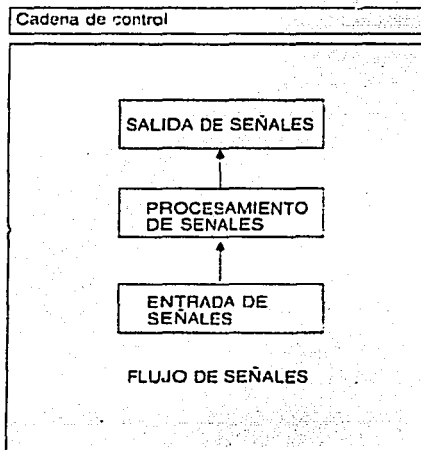
- Gran velocidad de transmisión de las señales. En una línea eléctrica, la distancia no tiene consecuencia en el tiempo de respuesta. En una línea neumática si la tiene.
- Aumento de las posibilidades de control debido al constante incremento de elementos de control disponibles en las técnicas eléctrica y electrónica.
- Ahorro de energía. La electricidad resulta más económica que el aire, pues debido al bajo rendimiento de los compresores solamente se transforma en energía neumática una parte no muy grande de la energía eléctrica.
- Los elementos eléctricos y electrónicos son más baratos a causa de su producción masiva. Estos mismos elementos son a menudo muy pequeños, ocupan poco espacio y son fáciles de montar.

Los elementos que enlazan estas dos técnicas son:

- Distribuidores electroneumáticos.
- Presostatos.
- Válvulas neumáticas proporcionales.

### 3.1 Fundamentos de Control

Una aproximación al desarrollo de un sistema de control es la de ver el sistema como si tuviera tres secciones definidas. Estas comprenden los dispositivos de



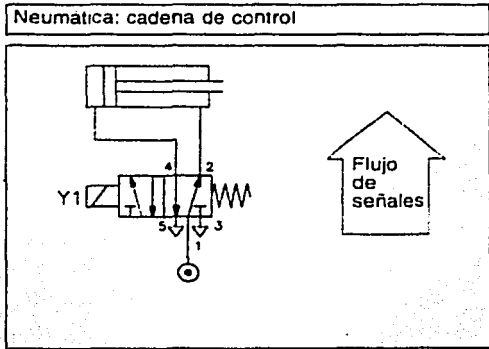
salida, los componentes que controlan las salidas y los elementos que proporcionan las entradas y la información realimentada (Fig. 3.1). Estas divisiones representan una cadena de control en donde las señales y la energía fluyen en un sentido identificable hacia el circuito..

Figura 3.1



La cadena de control (Fig. 3.2) se caracteriza por un flujo que va desde la entrada de señales, a través del procesamiento de estas señales hacia la salida de señales y ejecución de las instrucciones.

Figura 3.2



Utilizando la cadena de control (Fig. 3.3) como guía, los dibujos pueden desarrollarse de una manera uniforme y estructurada. La cadena de control también

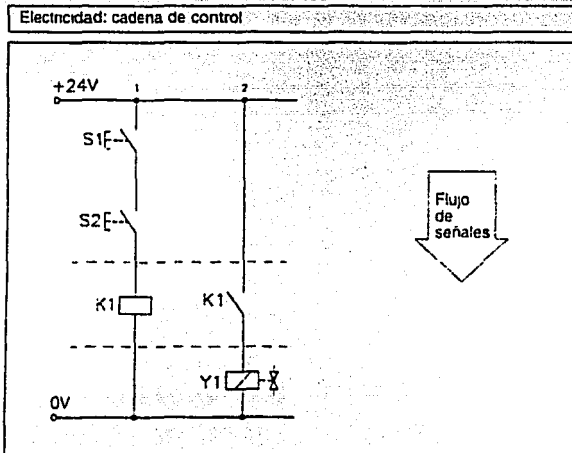


Figura 3.3

proporciona una base a partir de la cual los circuitos pueden desarrollarse metódicamente. Por ejemplo, la estructura de la cadena de control puede utilizarse como guía para:

**CAPÍTULO 3**

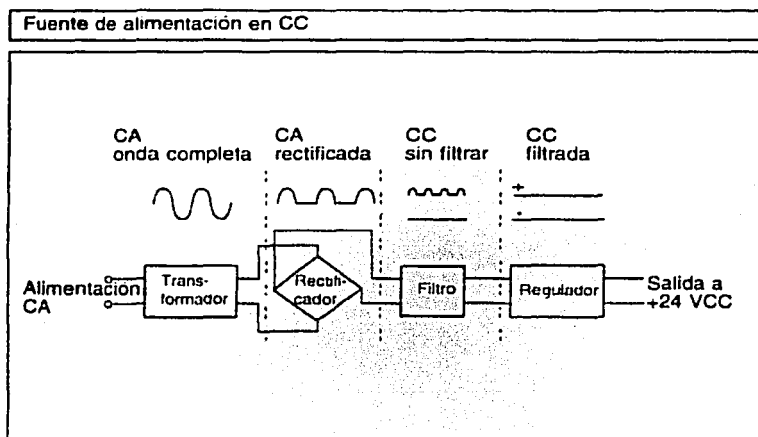
---

- Agrupar componentes con funciones similares, por ejemplo en la etapa de entrada de señales: siempre que sea posible, todos los pulsadores y finales de carrera deberían agruparse
- Minimizar el número de líneas que se cruzan en las secciones neumática y eléctrica del esquema
- Producir dibujos con una metodología uniforme, simplificando así la lectura del esquema

**3.2 Alimentación Eléctrica y sus Características**

En controles electroneumáticos, las baterías (Fig 3.4), si se utilizan, son generalmente para fines de salvaguarda. Esto es, en caso de fallo de la tensión principal de alimentación, se mantiene una reserva de energía eléctrica para las funciones de emergencia, alarmas, pilotos, etc.

La fuente de alimentación debe poder alimentar desahogadamente la corriente total del sistema sin sobrecargarse. Debe tenerse en cuenta también la posibilidad de que posteriormente se efectúen ampliaciones y que las necesidades de alimentación aumenten.



### 3.3 Válvulas Distribuidoras

Las válvulas distribuidoras controlan el recorrido del aire en un circuito neumático. Las válvulas distribuidoras se utilizan para dirigir o bloquear el flujo de aire a determinadas líneas y / o descargar el aire a la atmósfera a través de sus escapes.

Una válvula distribuidora se describe por su número de conexiones de trabajo (orificios que tiene para conectar con el exterior), su número de posiciones de conmutación y por su método de accionamiento.

**CAPÍTULO 3**

---

La forma constructiva es importante cuando se consideran las características de funcionamiento de la válvula, tales como el caudal, pérdida de presión y velocidad de conmutación para una determinada aplicación.

El símbolo utilizado para representar la válvula, muestra las características generales de funcionamiento del componente. El mismo símbolo puede representar diferentes ejecuciones, métodos de construcción o características de funcionamiento.

### *3.3.1 Formas Constructivas*

La forma constructiva de la válvula influye en su vida útil, fuerza de accionamiento requerida, tiempo de conmutación, método de accionamiento y dimensiones físicas.

Las formas constructivas se clasifican como sigue:

- Válvulas de asiento:
  - Válvulas de asiento de bola
  - Válvulas de asiento de disco
- Válvulas de corredera:
  - Válvulas de corredera longitudinal
  - Válvulas de corredera plana
  - Válvulas de corredera de disco

Las válvulas de asiento (Fig. 3.5) abren y cierran por medio de bolas, discos o conos. Los asientos de válvulas, generalmente tienen simples juntas de plástico. Las ejecuciones más sencillas tienen pocas piezas de desgaste y por lo tanto una larga vida útil. Son robustas e insensibles a la suciedad. Debe tenerse en cuenta la relativamente elevada fuerza para superar la fuerza del muelle y la oposición de la presión del aire. La válvula de asiento de disco tiene la ventaja de permitir el paso de grandes caudales de aire debido a su gran superficie

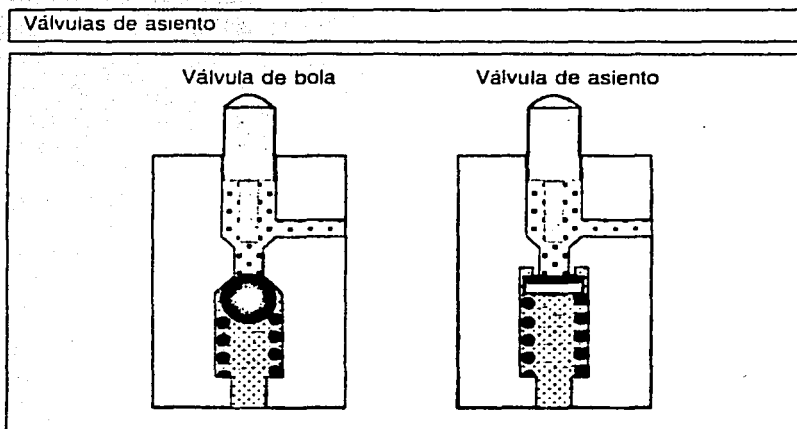


Figura 3.5

Las válvulas de corredera longitudinal (Fig. 3.6) se construyen o bien con una estricta tolerancia entre la corredera y el cuerno, o con juntas en "O" para proporcionar una estanquidad efectiva. Sin embargo, las de disco suspendido tienen

las ventajas de tener una carrera relativamente corta y un bajo desgaste propio de las válvulas de asiento.

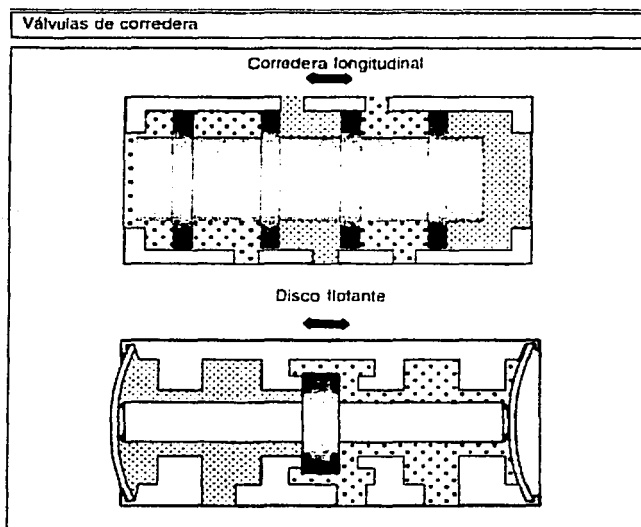


Figura 3.6

### 3.3.2 Métodos de Accionamiento

El método de accionamiento de las válvulas distribuidoras depende de los requerimientos de la tarea. Los métodos de accionamiento incluyen diversos métodos manuales, mecánicos y eléctricos (Fig. 3.7). También pueden combinarse los diversos accionamientos, por ejemplo, una válvula con accionamiento eléctrico

## CAPÍTULO 3

puede incorporar un accionamiento manual auxiliar para activarla, si es necesario, en caso de fallo de tensión.










Métodos de accionamiento	
Pulsador	
Pedal	
Muelle de retorno	
Rodillo	
Pilotaje neumático	
Solenoides ( 1 bobina )	
Solenoides ( 2 bobinas )	
Solenoides con servopilotaje y accionamiento manual	
Solenoides, retorno por muelle	

Figura 3.7

Además del método de accionamiento también debe tenerse en cuenta el método de reposición. Un ejemplo es la válvula que utiliza un solenoide como medio de accionamiento y un muelle de retorno para regresar a su posición inicial o de partida.

### 3.3.3 Conversión de la Energía Eléctrica en Neumática

Las electroválvulas reúnen las ventajas de la electricidad y de la neumática y pueden ser consideradas convertidores electroneumáticos. Constan de una válvula

neumática como medio de generar una señal de salida, y de un accionamiento eléctrico denominado solenoide. La aplicación de una corriente al solenoide genera una fuerza electromagnética que mueve la armadura conectada a la leva de la válvula.

Cuando se corta la corriente que alimenta el solenoide, cesa su fuerza, permitiendo que un muelle interno devuelva la leva de la válvula a su posición inicial.

#### *3.3.4 Válvulas Pilotadas*

Utilizando el control por pilotaje (Fig. 3.8), puede reducirse el tamaño del solenoide. Desde el punto de vista mecánico, esto tiene dos ventajas principales:

- Reduce el consumo de potencia
- Reduce la generación de calor

Neumáticamente, la ventaja es que la señal se aplica al solenoide que actúa la válvula auxiliar de pilotaje y ésta genera la señal para la válvula principal (Fig. 3.9).



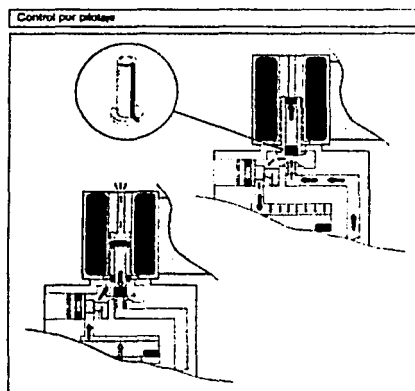


Figura 3.8

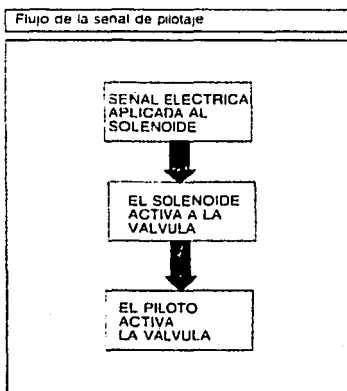


Figura 3.9

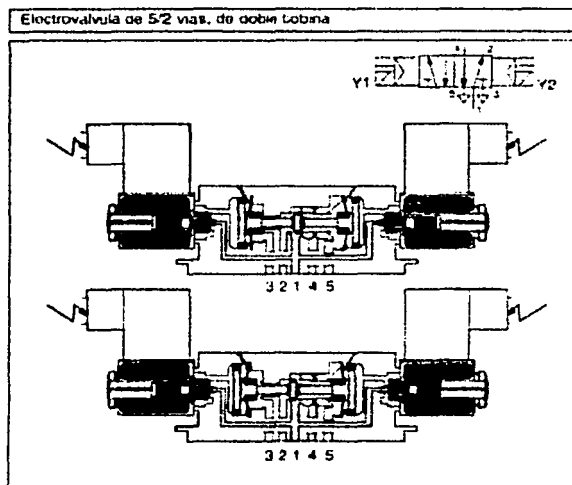


Figura 3.10

**CAPÍTULO 3**

La diferencia entre esta válvula (Fig. 3.10) y la de control directo es la adición de un pilotaje interno. La válvula piloto puede considerarse como un amplificador, ya que la fuerza que genera el solenoide es amplificada por la válvula piloto, proporcionando una mayor fuerza de actuación.

### *3.3.5 Fiabilidad de las Válvulas*

En la práctica, los componentes de un circuito electroneumático, a menudo alcanzan duraciones extremadamente largas y elevados ciclos de conmutación. Los componentes neumáticos son muy robustos y si han sido seleccionados correctamente en la etapa de diseño, darán una larga vida útil. Adicionalmente, la fiabilidad se incrementa con: la correcta preparación del aire comprimido, instalaciones que permitan un fácil acceso, alineación correcta, control de las condiciones ambientales tales como calor y daños mecánicos, así como con un mantenimiento regular.

Las válvulas de potencia que accionan dispositivos tales como actuadores lineales y rotativos, tienen como exigencia fundamental el que permitan una rápida inversión del actuador cuando se aplica una señal al solenoide. Por eso, la válvula debe situarse lo más cerca posible del actuador. Esto reduce la longitud de los tubos así

como los tiempos de respuesta. Idealmente, la válvula de potencia debería fijarse directamente con el actuador. Esto tiene la ventaja adicional de ahorrar en tuberías y tiempo de montaje.

### *3.3.6 Características de Conmutación de las Válvulas*

En todos los circuitos de control, particularmente aquellos con muchos actuadores y secuencias complejas, el control de los estados de conmutación de las válvulas es una consideración clave. Por eso es importante comprender las características de conmutación de las válvulas. Estas características tienen un efecto decisivo en la efectividad y simplicidad del diseño del circuito.

Una forma de clasificar las válvulas es atendiendo a sus características de retención o comportamiento memorizante (Fig. 3.11):

- Válvulas monoestables
- Válvulas biestables

Las válvulas distribuidoras monoestables en electroneumática, son generalmente las que utilizan un solenoide como acción primaria y un muelle de retorno para devolver la válvula a su posición inicial. Las válvulas monoestables no tienen

## CAPÍTULO 3

comportamiento memorizante. O sea que cuando cae la tensión, van a su posición inicial.

Las válvulas distribuidoras biestables tiene un comportamiento memorizante y generalmente son del tipo 4/2 ó 5/2 vías, con doble solenoide. Sus características de conmutación son:

- Para alcanzar una nueva posición, sólo debe haber tensión en una de las bobinas
- Permanece la última posición. La válvula puede conmutarse con un breve pulso (10 - 25 ms) aplicado a una de las bobinas, y mantener este estado indefinidamente
- La posición alcanzada se mantiene hasta que se aplique un señal opuesta.

Las válvulas biestables se denominan también válvulas de memoria.

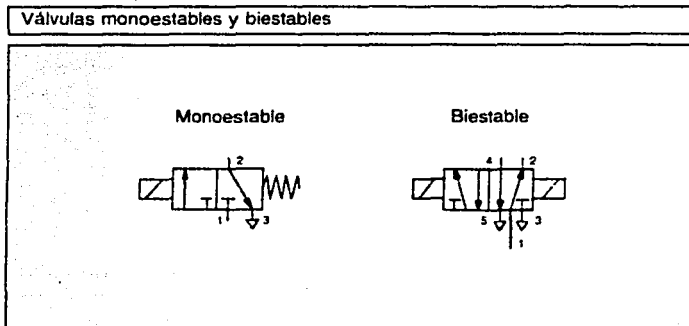


Figura 3.11

### 3.4 Interruptores y Relés

Los relés tienen un amplio campo de aplicación en la industria. Incluso con la llegada de los controles electrónicos y otros dispositivos tales como los tiristores (relés en estado sólido), los relés electromecánicos mantienen aún un elevado nivel de aceptación. Una razón es que para tareas sencillas de control, los relés ofrecen una solución sencilla y económica. Están disponibles en una amplia gama de configuraciones, desde minúsculos relés de tan solo 10 mm de largo con múltiples contactos para telefonía, hasta los grandes relés, denominados contactores, para control de potencia en aplicaciones tales como el control de motores trifásicos.

Un relé tiene ciertas características:

- Bajo mantenimiento
- Capaz de interrumpir varios circuitos independientes
- Fácilmente adaptable a diferentes tensiones de funcionamiento
- Elevada velocidad de respuesta, es decir, breves tiempos de conmutación

Una pequeña corriente aplicada a la bobina del relé, puede controlar una elevada corriente aplicada a sus contactos. En un circuito electroneumático, los relés se utilizan generalmente como procesadores de señal. En lugar de activar los

solenoides directamente desde los finales de carrera y sobrecargar sus contactos, los contactos del relé actúan como amplificadores. Otra función importante de los relés en un circuito es la realizar enlaces lógicos o enclavamientos.

En los sistemas de control electroneumático, una consideración importante es la terminología utilizada para describir la posición de los componentes y en qué forma transfieren la energía. Dos de los términos más utilizados son:

- Normalmente cerrado
- Normalmente abierto

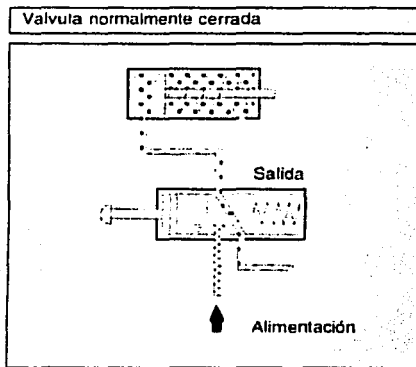


Figura 3.12

Cuando nos referimos a una válvula normalmente cerrada (NC), esto significa que en estado de reposo no fluye la energía desde la alimentación a través de la válvula (Fig. 3.12). El término "cerrado" se refiere a que la señal está bloqueada en el componente neumático.

## CAPÍTULO 3

Un interruptor eléctrico normalmente cerrado (NC), en su estado de reposo permite el paso de la electricidad, alimentando la salida (Fig. 3.13). El término "cerrado" se refiere aquí a la posición física de los contactos en estado de reposo.

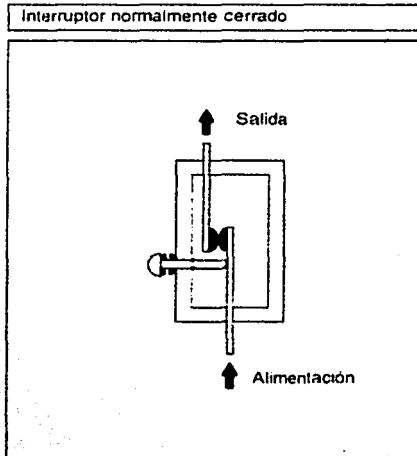


Figura 3.13

### 3.4.1 Configuración Básica de los Interruptores

Los interruptores se distinguen en primer lugar por la configuración de sus 6.1 contactos:

- Normalmente abiertos (paso de 3 a 4)
- Normalmente cerrados (paso de 1 a 2)
- Contactos conmutadores (paso de 1 a 2 ó de 1 a 4)

## CAPÍTULO 3

Al accionario, un contacto normalmente abierto (NA) permite el paso de la corriente, mientras que un contacto normalmente cerrado (NC) impide el paso de la corriente. Los contactos conmutadores (CO) pueden utilizarse como abiertos o cerrados. En terminología eléctrica también se hace referencia a los interruptores como "cerradores" o "abridores" de un circuito (Fig. 3.14).

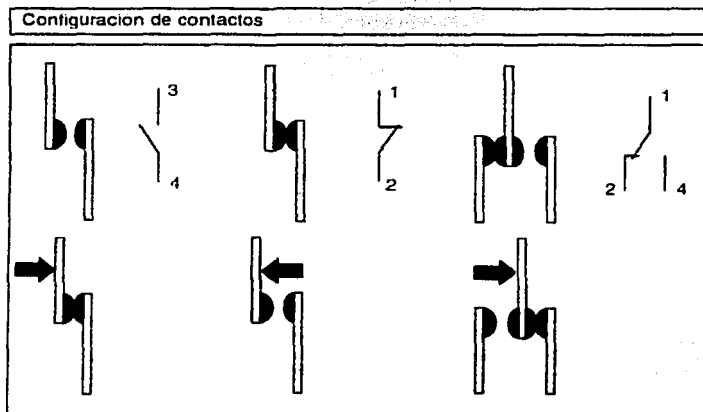


Figura 3.14

Los interruptores pueden consistir en un simple par de contactos normalmente abiertos, cerrados o conmutados (Fig. 3.15). Se dispone también de configuraciones con varios contactos combinados NA, NC y CO, accionados por el mismo elemento accionador.



## CAPÍTULO 3

También se dispone de un amplio abanico de posibilidades de accionamiento, tales como pulsadores, levas mecánicas, rodillos o accionamientos neumáticos.

## Interruptores de pulsador básicos: NA y NC

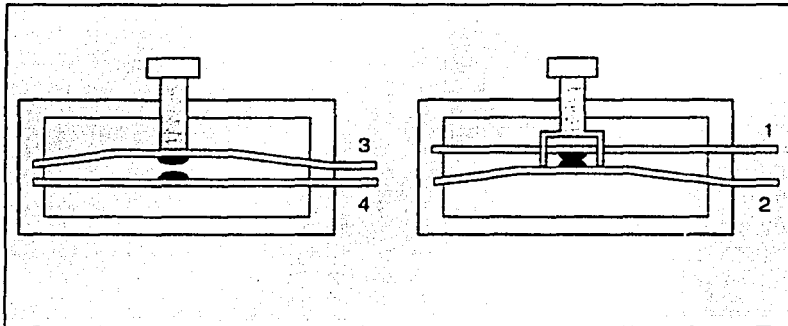


Figura 3.15

Al seleccionar un interruptor deben considerarse:

- Tensión e intensidad nominal de los contactos
- Nivel de aislamiento eléctrico de la caja de pulsadores
- Número y configuración de los contactos
- Método de accionamiento y ejecución de los contactos

## CAPÍTULO 3

En los interruptores accionados mecánicamente, debe prestarse especial atención a las especificaciones del fabricante para su montaje, ángulo de ataque de los accionadores (levas, etc.), velocidad de accionamiento, duración.

En interruptores simples, la configuración de contactos se identifica fácilmente; por ejemplo, un interruptor NA de un solo contacto, tiene una conexión de entrada y una de salida. Otros, como los de múltiples contactos, tienen varios contactos, unos normalmente cerrados (NC), otros normalmente abiertos (NA). Tales interruptores suelen incluir uno o más conmutadores (CO); así que tanto desde el punto de vista de dibujo del esquema, como del montaje, es importante disponer de un método de identificación de los contactos (Fig. 3.16).

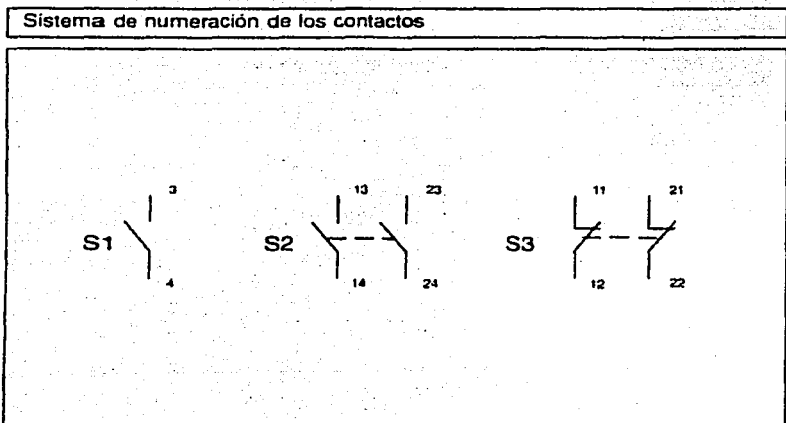


Figura 3.16

**CAPÍTULO 3**

---

Muchos sistemas que incluyen relés, utilizan un sistema de numeración para identificar sus contactos. Adicionalmente, puede identificarse todo el interruptor, por ejemplo, con "S1", "S2" y así sucesivamente.

Un interruptor denominado, por ejemplo, S1, con un solo contacto abierto, sería identificado utilizando las cifras 3 y 4.

Sin embargo, S2 tiene dos contactos NA, de forma que debemos diferenciarlos. Ahora el primer contacto se denomina 13-14. En este caso, el primer dígito (1) le identifica como el primer contacto. Los segundos dígitos 3 y 4 indican que se trata de contactos NA. El primer dígito 2, identifica al segundo contacto. Al tratarse de nuevo de contactos NA, los segundos dígitos son 3 y 4.

S3 tiene dos contactos NC, el primero tiene como primer dígito el 1 y el segundo el 2. Los contactos NC se identifican con los segundos dígitos 1 y 2.

La línea de trazos entre los contactos de S1 y S2 indica que se hallan mecánicamente ligados. En otras palabras, cuando se acciona el interruptor, ambos operan simultáneamente.

**CAPÍTULO 3**

La elección del método de identificación de interruptores comunes es discrecional. Por ejemplo, un interruptor reed, puede identificarse como S1, S2, S3, etc. o RS1, RS2, RS3, o B1, B2, B3, o a0, a1, b0. En muchos casos, la identificación depende de normas y procedimientos locales.

### 3.4.2 Métodos de Accionamiento

Los métodos de accionamiento más comunes son:

- Pulsador o selector
  - Los interruptores con retención (Fig. 3.17) también se denominan selectores, esto es, una vez accionados, los contactos permanecen retenidos mecánicamente. Una nueva pulsación o una basculación, libera el enclavamiento mecánico y devuelve el interruptor a su estado original.
  - Los interruptores sin retención se conocen también como de acción momentánea, lo que significa que al soltar el pulsador, un muelle devuelve el contacto a su posición inicial.

El interruptor conmutador es la combinación de un contacto normalmente abierto y normalmente cerrado. Hay un elemento común a ambos estados. En trabajo o en reposo el conmutador sólo establece contacto con una de las dos salidas (Fig. 3.18).

Interruptor con retención (selector)

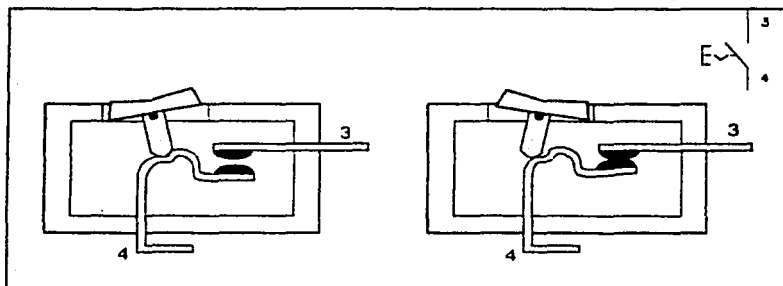


Figura 3.17

La amplia demanda de configuraciones y ejecuciones de interruptores para aplicaciones de control industrial, ha propiciado una igualmente amplia oferta de elementos de contacto con distintas ejecuciones, cuerpos, capacidades y métodos de accionamiento.

Pulsador conmutador

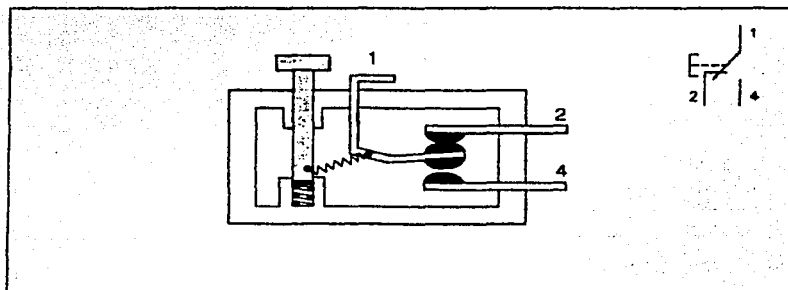


Figura 3.18

## CAPÍTULO 3

El final de carrera accionado por rodillo (Fig. 3.19) se acciona en ambos sentidos por una leva. Este interruptor puede incorporar contactos normalmente abiertos, normalmente cerrados o conmutadores.

Final de carrera accionado por rodillo

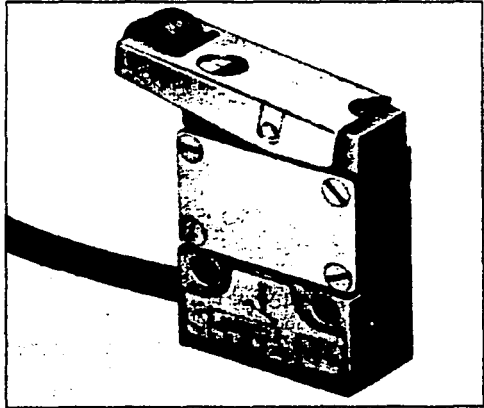


Figura 3.19

### 3.4.3 Sensores Electrónicos

Algunas aplicaciones requieren el uso de sensores electrónicos (Fig. 3.20), que utilizan:

- Inducción eléctrica
- Capacidad
- Luz infrarroja

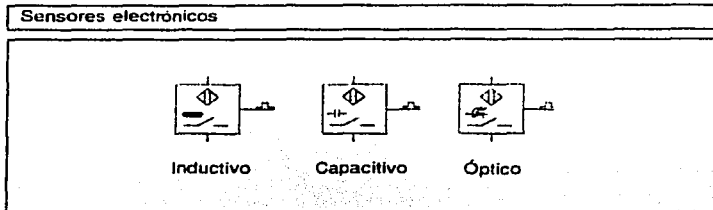


Figura 3.20

Los sensores inductivos son sensores de 3 hilos que solo responden a los metales. Generalmente poseen un LED para indicar su estado y, en algunos casos, un tornillo para ajustar la sensibilidad. Emiten un campo magnético oscilante en el frontal del sensor. Si un objeto metálico se acerca a este campo, las corrientes parásitas resultantes alteran el campo magnético. Un circuito disparador evalúa y detecta este campo y produce una señal de salida.

### 3.5 Dispositivos de Salida Eléctricos

Los dispositivos de salida eléctrica (Fig. 3.21), utilizados en los sistemas electroneumáticos, pueden ser:

- Movimientos electromecánicos
- Indicaciones acústicas
- Indicaciones ópticas

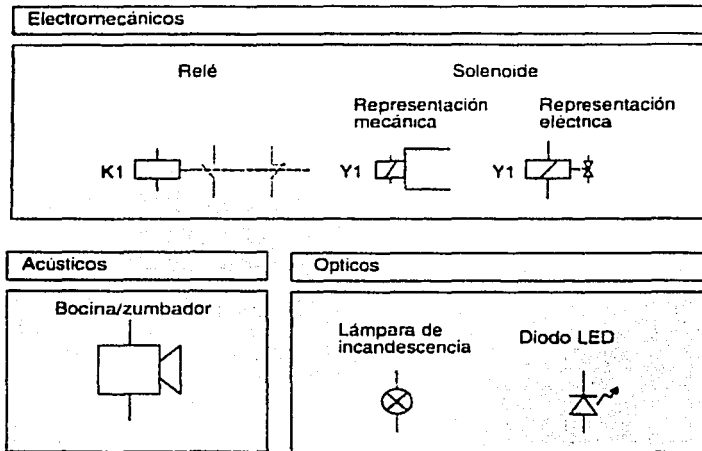


Figura 3.21

### 3.6 Convertidor Eléctrico-Neumático

Una electroválvula distribuidora es un convertidor eléctrico-neumático. Desde un punto de vista funcional, vale la pena mencionar esta interpretación:

- Las electroválvulas monoestables (una sola bobina) de 2/2 y 3/2 vías tienen una sola salida y en la mayoría de los casos utilizan un muelle como elemento de reposición. No tienen función memorizante; al quitar la tensión del solenoide, la válvula regresa a su posición inicial. Hay una relación directa entre la entrada eléctrica y la salida neumática.



- Las electroválvulas monoestables (una sola bobina) de 4/2 y 5/2 vías poseen dos salidas de aire y utilizan también un muelle de reposición. Dependiendo de si se halla activo o no el solenoide, una salida se hallará bajo presión. Estas válvulas no tienen función memorizante.
- Las electroválvulas biestables (dos bobinas) de 4/2 y 5/2 vías tienen una función memorizante. La última señal aplicada a una de las bobinas produce una salida que permanece en este estado hasta que aparece una señal en la bobina contraria. Estas válvulas necesitan solamente un pulso de breve duración para conmutar.

### 3.7 Desarrollo de un Sistema de Control

El desarrollo de un sistema de control exige una clara definición del problema. Hay muchas formas de representar un problema de forma gráfica o descriptiva. Los métodos de representación de un problema de control pueden ser:

- Croquis de posición
- Diagrama desplazamiento-fase
- Diagrama desplazamiento-tiempo
- Esquema de control

**CAPÍTULO 3**

---

- Diagrama de flujo
- Diagrama funcional
- Esquema del circuito

En un primer nivel básico de control electroneumático la forma de representación más común es el croquis de posición, el diagrama de desplazamiento-fase y el esquema del circuito.

### Sistemas Actuadores

Un componente importante en la transferencia de potencia desde el procesamiento de señales a los actuadores lineales o giratorios, es la válvula distribidora. La selección del tipo y tamaño de la válvula determinará muchas de las características funcionales del actuador. Los desarrollos en el campo de las válvulas distribidoras se orientan hacia:

- Montaje en baterías y en placas base con alimentación y escape comunes
- Bajo consumo de las bobinas de los pilotajes
- Múltiples funciones en una misma válvula, determinadas por la disposición de juntas o discos intermedios
- Diferentes materiales, en especial materiales sintéticos inyectados

**CAPÍTULO 3**

- Múltiples válvulas en una sola unidad constructiva
- Inclusión de la válvula en el actuador

Croquis de Situación

El croquis de situación muestra la relación entre los actuadores y su disposición en la máquina (Fig. 3.22). Los actuadores se muestran en la orientación correcta. El croquis de situación normalmente no está a escala y no debería ser excesivamente detallado. Se utilizará conjuntamente con la descripción del funcionamiento de la máquina y los diagramas de movimientos.

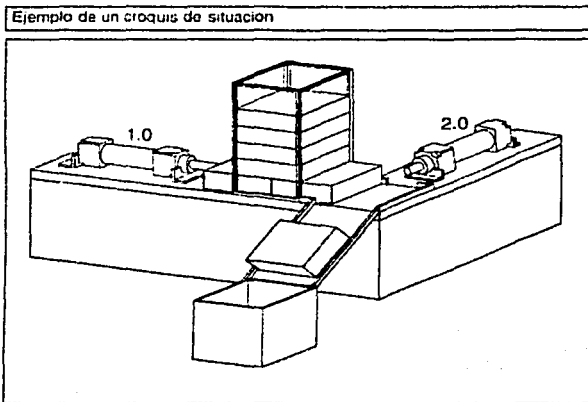


Figura 3.22

**CAPÍTULO 3**Diagrama Desplazamiento-Paso

El diagrama desplazamiento-paso (Fig. 2.23) se utiliza para movimientos secuenciales en neumática e hidráulica. El diagrama representa la secuencia de los movimientos de los actuadores; el movimiento es registrado de acuerdo a los pasos o fases de la secuencia. Si un sistema de control incorpora varios actuadores, se muestran de la misma forma y se dibujan unos encima de otros. Su relación puede verse comparando los pasos.

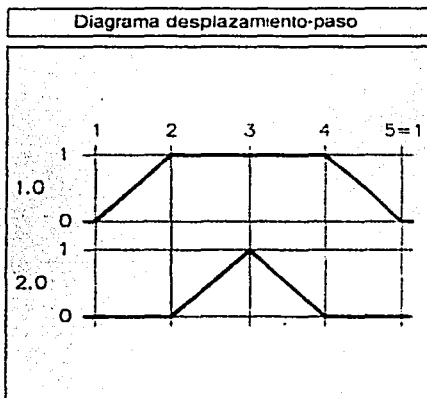


Figura 3.23

Diagrama Funcional

El diagrama funcional es común en el desarrollo de sistemas de control eléctricos y electrónicos, y representa de forma clara las acciones y reacciones de un sistema secuencial.

## CAPÍTULO 3

## Esquema del Circuito

Las secciones eléctrica y neumática del circuito se dibujan por separado pero relacionadas. Las conexiones de los componentes están numeradas para corresponderse con las designaciones de los elementos de hardware como los interruptores, relés y válvulas. El esquema del circuito (Fig. 3.24) no representa la disposición mecánica del dispositivo. El circuito neumático se dibuja indicando el flujo de energía desde abajo hacia arriba.

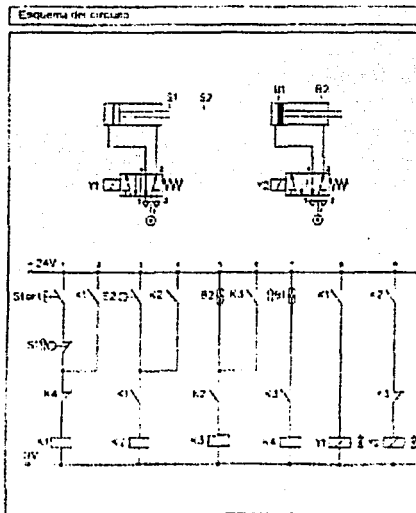


Figura 3.24

El circuito eléctrico se dibuja con el flujo de energía de arriba hacia abajo. La razón es que debe pensarse en la línea del positivo como 'por encima de los 0 voltios'. Las conducciones verticales en las que se sitúan los componentes, se denominan líneas de contactos' o simplemente 'líneas'. Se numeran de izquierda a derecha. Los elementos se dibujan en su estado inicial.

**CAPÍTULO 3****3.8 Algunas Metodologías en Esquemas Eléctricos y Diseño de Secuencias de Movimientos.**

De una manera general el esquema se representará en el estado de reposo, es decir, sin tensión. Los elementos se presentan en su posición inicial. Si se desea poner en evidencia la importancia de una línea, puede representarse en trazo grueso. La posición de los símbolos no tiene gran importancia puesto que el esquema queda muy simplificado.

En lo que concierne a los esquemas de conexiones deben observarse las recomendaciones siguientes:

- Representar verticalmente toda las conexiones entre las líneas colectoras que serán siempre horizontales.
- Disponer, por regla general, todos los elementos de conmutación únicamente sobre estas líneas verticales.
- Representar la fluencia de la corriente de arriba hacia abajo.
- Evitar los posibles de cruces de líneas.
- Representar todo los elementos en estado de reposo, en caso contrario se debe especificar claramente (con una flecha, por ejemplo).

**CAPÍTULO 3**

---

- La maniobra debe realizarse de izquierda a derecha, y los símbolos de los contactos se colocan en el lado izquierdo de la vertical de la línea.
- Unir siempre directamente las bobinas, pilotos, etc., a la línea de conexión inferior, que será la línea "común". Si existe una toma de tierra, al polo de tierra.
- Reproducir aparte, bajo el esquema, los símbolos completos de los diferentes componentes para facilitar la lectura.
- Unificar por letras y cifras los órganos de conmutación y todo el aparellaje en general.
- Dibujar separadamente los circuitos de mando y potencia. Si es posible colocar el circuito de mando bajo el circuito principal.

### *3.8.1 Método de la Bandera*

Este método requiere la siguiente serie de pasos para llevarse a cabo.

1.-Se elabora la ecuación de movimientos, que es la representación de la secuencia por medio de la letra que se le asigne al cilindro. los símbolos (+) para el avance y (-) para el retroceso para cada movimiento.

**CAPÍTULO 3**

---

2.-Se elabora un listado de secuencias NEYLE, y se anota en un renglón el número de paso, que emisores de señal están activados y el movimiento a realizar. Anotar un renglón para cada paso de la secuencia.

3.-Identificar que renglones tienen listados los mismos emisores de señal o este contenido uno en otro y marcarlos con un asterisco.

4.-Para hacer diferentes a dichos pasos (renglones) utilizaremos un relevador (bandera), en el primer renglón con asterisco se pregunta que no este la bandera y en el segundo renglón con asterisco se pregunta que este activada la bandera.

5.-Del segundo paso con asterisco, un renglón antes se energiza el relevador bandera de manera memorizada y un renglón después del segundo paso con asterisco se desenergiza.

6.-Para transportar el listado secuencial neyle a el diagrama eléctrico

a) cada renglón - paso representa una rama vertical, en el caso de que la electroválvula sea monoestable se tendrá que memorizar dicha rama.



b) cada emisor de señal se conecta en serie en dicha rama tomándose los contactos abiertos de cada sensor.

c) si se tienen banderas el preguntar que no este la bandera equivale a tener un contacto cerrado de dicho relevador y el preguntar que este activada con un contacto abierto.

Nota: conectar cada rama a una bobina si las electrovalvulas son biestables y si son monoestables las ramas se conectan a un relevador y las bobinas a un contacto del relevador al que pertenezcan.

### 3.8.2 Método Cascada

Este método requiere la siguiente serie de pasos para llevarse a cabo.

1.-Se elabora la ecuación de movimientos, que es la representación de la secuencia por medio de la letra que se le asigne al cilindro, los símbolos (+) para el avance y (-) para el retroceso para cada movimiento.

2.-Se divide la ecuación en grupos, cada grupo tiene la limitante de que no puede poseer movimientos complementarios de un mismo cilindro.

**CAPÍTULO 3**

---

3.-Se identifican los sensores de grupo y los sensores que hacen cambio de grupo. estos últimos son los sensores que mandan señal para activar al primer movimiento de cada grupo.

4.-Para realizar el diagrama de control eléctrico dibujamos dos líneas paralelas horizontales que representan las líneas de alimentación 24v y 0v.

5.-Dibujar a continuación del lado derecho entre las líneas de alimentación líneas horizontales tantas como grupos de nuestra ecuación existan.

6.-Se coloca al lado izquierdo de las líneas de alimentación de grupo tantos contactos eléctricos un polo dos tiros de relevador uno por cada grupo y el del último grupo se elimina. Se conecta el polo del primero al contacto cerrado del segundo y así sucesivamente, el contacto común del ultimo se conecta a 24v. El contacto cerrado del primero alimenta el último grupo y el contacto abierto de cada uno a su grupo correspondiente.

7.-Los sensores que hacen cambio de grupo se dibujan del lado izquierdo que energizaran a un relevador, dicha rama debe quedar memorizada y tirar la memoria con un contacto cerrado del relevador del grupo siguiente. Cada una de estas ramas

**CAPÍTULO 3**

---

debe contener un contacto del relevador del grupo anterior por medio del cual se prepara el grupo presente.

8.-Las bobinas que generan el primer movimiento de cada grupo se dibujan debajo de las líneas de alimentación por grupo y se conectan directamente al grupo que pertenezcan y por debajo a la línea de 0v.

9.-Los sensores que pertenecen a un grupo se dibujan bajo las líneas de alimentación de grupos y se conectan por la parte superior al grupo que pertenezcan y por debajo a la bobina de la electroválvula que tengan que activar.

### *3.8.3 Método Paso a Paso Mínimo*

Este método requiere la siguiente serie de pasos para llevarse a cabo.

1.-Se elabora la ecuación de movimientos, que es la representación de la secuencia por medio de la letra que se le asigne al cilindro. los símbolos (+) para el avance y (-) para el retroceso en cada movimiento.

2.-Se divide la ecuación en grupos. cada grupo tiene la limitante de que no puede poseer movimientos complementarios de un mismo cilindro.

**CAPÍTULO 3**

---

3.-Se identifican los sensores de grupo y los sensores que hacen cambio de grupo, estos últimos son los sensores que mandan señal para activar al primer movimiento de cada grupo.

4.-Para realizar el diagrama de control eléctrico dibujamos dos líneas paralelas horizontales que representan las líneas de alimentación 24v y 0v.

5.-Dibujar a continuación del lado derecho entre las líneas de alimentación líneas horizontales tantas como grupos de nuestra ecuación existan.

6.-Un contacto abierto de cada relevador de grupo conectará 24v a su respectivo grupo.

7.-Los sensores que hacen cambio de grupo se dibujan del lado izquierdo que energizaran a un relevador, dicha rama debe quedar memorizada y tirar la memoria con un contacto cerrado del relevador del grupo siguiente. Cada una de estas ramas debe contener un contacto del relevador del grupo anterior por medio del cual se prepara el grupo presente.

**CAPÍTULO 3**

---

8.-Las bobinas que generan el primer movimiento de cada grupo se dibujan debajo de las líneas de alimentación por grupo y se conectan directamente al grupo que pertenezcan y por debajo a la línea de 0v.

9.-Los sensores que pertenecen a un grupo se dibujan bajo las líneas de alimentación de grupos y se conectan por la parte superior al grupo que pertenezcan y por debajo a la bobina de la electroválvula que tengan que activar.

### *3.8.4 Método Paso a Paso Máximo*

Este método requiere de los pasos del método anterior con las diferencias siguientes:

- 1.-Cada movimiento realiza cambio de grupo.
- 2.-Por lo tanto todos los emisores de señal van ubicados del lado izquierdo.
- 3.-Las bobinas van conectadas del lado derecho directamente a cada grupo.

# **PLC's**

---

## **CAPITULO 4**

### **CONTROLES LÓGICOS PROGRAMABLES**

#### **4.1 El PLC en la Tecnología de Automatización.**

El primer Control Lógico Programable (Programmable Logic Control o PLC) fue desarrollado por un grupo de ingenieros en la General Motors en 1968, cuando la empresa estaba buscando una alternativa para reemplazar los complejos sistemas de control por relés.

El nuevo sistema de control tenía que cumplir con los siguientes requerimientos:

- Programación sencilla
- Cambios de programa sin intervención en el sistema (sin tener que rehacer el cableado interno)
- Más pequeño, más económico y más fiable que los correspondientes sistemas de control por relés
- Sencillo y con bajo coste de mantenimiento

Los sucesivos desarrollos llevaron a un sistema que permitía la conexión sencilla de señales binarias. Los requerimientos de cómo estaban conectadas estas señales se especificaba en el programa de control. Con los nuevos sistemas, fue posible por primera vez mostrar las señales en una pantalla y archivar los programas en memorias electrónicas.

Desde entonces han pasado tres décadas, durante las cuales los enormes progresos hechos en el desarrollo de la micro electrónica han favorecido la proliferación de los controles lógicos programables. Por ejemplo, a pesar de que en sus comienzos, la optimización del programa y con ello la necesidad de reducir la ocupación de memoria representaba una tarea importante para el programador, en la actualidad esto apenas tiene importancia.

Además, las funciones disponibles han crecido considerablemente. Hace quince años, la visualización de procesos, el procesamiento analógico o incluso la utilización de un PLC como un regulador, eran considerados una utopía. Actualmente, muchos de estos elementos son parte integral de muchos PLC's.

#### 4.1.1 Áreas de Aplicación de un PLC

Todas las máquinas o sistemas automáticos tienen un control. Dependiendo del tipo de tecnología utilizada (Fig. 4.1), los controles pueden dividirse en neumáticos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos. Con frecuencia se utiliza una combinación de las diferentes tecnologías. Además, debe distinguirse entre controles con programa  *cableado*  (es decir, con conexión física de componentes electromecánicos (relés, etc.) o componentes electrónicos (circuitos integrados)) y controles lógicos programables. Los primeros se utilizan principalmente en casos en los que la reprogramación por el usuario está fuera de toda duda y el alcance de la tarea justifica el desarrollo de un sistema de control especial. Las aplicaciones típicas de tales controles pueden hallarse en los electrodomésticos, vídeo cámaras, vehículos, etc.



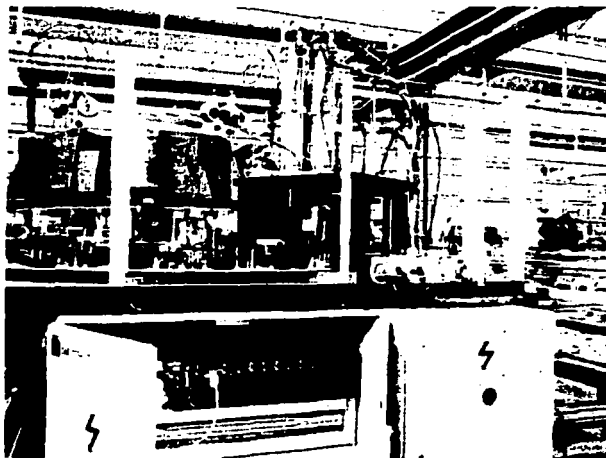


Figura 4.1

La tarea original de un PLC es la interconexión de señales de entrada, de acuerdo con un determinado programa y, si el resultado de esta interconexión es “cierta”, activar la correspondiente salida. El álgebra de Boole forma la base matemática para esta operación, ya que solamente reconoce dos estados definidos de una variable: “0” (falso) y “1” (cierto). Consecuentemente, una salida sólo asume estos dos estados. Por ejemplo, una electroválvula conectada a la salida puede estar activada o desactivada, es decir, controlada.

Sin embargo las tareas del PLC se ampliaron rápidamente: las funciones de temporización y recuento, operaciones de cálculo matemático, conversión de señales

analógicas, etc. representan funciones que pueden ejecutarse en casi todos los PLC's actuales.

Hacia finales de los setenta, las entradas y salidas binarias fueron finalmente ampliadas con la adición de entradas y salidas analógicas, ya que hay muchas aplicaciones técnicas que emiten y requieren señales analógicas (medición de fuerzas, velocidades, sistemas de posicionado servoneumáticos, etc.). Al mismo tiempo la adquisición y emisión de señales analógicas permite la comparación de valores reales con los de consigna y, como consecuencia, la realización de funciones de regulación automática; una tarea que va más allá del ámbito que sugiere el nombre de control *lógico* programable.

Los PLC's que existen actualmente el mercado han sido adaptados a los requerimientos de los clientes hasta tal punto que ya es posible adquirir un PLC exactamente adaptado para casi cada aplicación. Así, hay disponibles actualmente desde PLC's en miniatura con unas decenas de entradas / salidas hasta grandes PLC's con miles de entradas / salidas.

Muchos PLC's (Fig. 4.2) pueden ampliarse por medio de módulos adicionales de entradas / salidas, módulos analógicos y de comunicación. Hay PLC's disponibles para sistemas de seguridad, barcos o tareas de minería. Otros PLC's son capaces de procesar varios programas al mismo tiempo (Multitarea). Finalmente, los PLC's



pueden conectarse con otros componentes de automatización, creando así áreas considerablemente amplias de aplicación.

Figura 4.2

#### *4.1.2 Definición Básica de un PLC.*

El término 'Control Lógico Programable' se define en IEC 1131, Parte 1, como sigue:

“Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones

específicas tales como enlaces lógicos, secuenciación, temporización, recuento y cálculo, para controlar, a través de entradas y salidas digitales o analógicas, diversos tipos de máquinas o procesos. Tanto el PLC como sus periféricos asociados están diseñados de forma que puedan integrarse fácilmente en un sistema de control industrial y ser fácilmente utilizados en todas las aplicaciones para las que están previstos.”

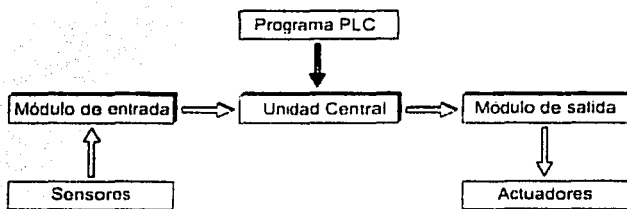


Figura 4.3

La función de un módulo de entrada es la de convertir señales de entrada en señales que puedan ser procesadas por el PLC y pasarlas a la unidad de control central. La tarea inversa es realizada por el módulo de salida. Este convierte las señales del PLC en señales adecuadas para los actuadores (Fig. 4.3).

El verdadero procesamiento de las señales se realiza en la unidad central de control, de acuerdo con el programa almacenado en la memoria.

El programa de un PLC puede crearse de varias formas: a través de instrucciones parecidas al lenguaje ensamblador (assembler) en 'lista de instrucciones', en lenguajes de alto nivel orientados al problema, tales como el texto estructurado, o en forma de diagrama de flujo como se representa en el diagrama de funciones secuencial. En Europa, la utilización de los diagramas de bloques de función basados en los diagramas de funciones con símbolos gráficos para puertas lógicas (logigramas) es ampliamente utilizado. En América el lenguaje preferido por los usuarios es el 'diagrama de contactos' o 'diagrama en escalera' (ladder diagram).

Dependiendo de cómo se halle conectada la unidad central a los módulos de entrada y salida, hay que distinguir entre PLC's compactos (módulo de entrada, unidad central y módulo de salida en un sólo cuerpo) o PLC's modulares.

El diseño del hardware de un control lógico programable está hecho de forma que pueda soportar los entornos típicos industriales en cuanto a los niveles de las señales, calor, humedad, fluctuaciones en la alimentación de corriente e impactos mecánicos.

### *4.1.3 El Nuevo Estándar para PLC, IEC-1311*

Anteriormente, no existían elementos de lenguaje estandarizados ni equivalentes para el desarrollo de programas de PLC. Los desarrollos aparecidos en los años ochenta, tales como el procesamiento de señales analógicas, interconexión de módulos inteligentes, sistemas de PLC en red, etc. agravaron el problema. Consecuentemente, los sistemas PLC de diferentes fabricantes requerían técnicas de programación completamente diferentes.

Desde 1992, existe un estándar internacional para controles lógicos programables y dispositivos periféricos asociados (herramientas de programación y diagnosis, equipos de verificación, interfaces hombre-máquina, etc.). En este contexto, un dispositivo configurado por el usuario y compuesto por los elementos citados anteriormente, se conoce como un sistema PLC.

El nuevo estándar IEC 1131 consta de cinco partes:

- Parte 1: Información general
- Parte 2: Requerimientos y verificaciones del equipo
- Parte 3: Lenguajes de programación
- Parte 4: Directrices para el usuario

- Parte 5: Especificación del servicio de mensajes

## 4.2 Diseño y Modo de Funcionamiento de un PLC.

### 4.2.1 Estructura de un PLC.

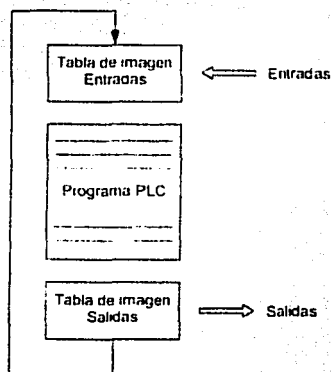
En los ordenadores, generalmente se distingue entre hardware, firmware y software. Lo mismo se aplica a los PLC's, ya que esencialmente también están basados en un microprocesador.

El *Hardware* se refiere a las partes físicas del dispositivo, el decir, los circuitos impresos, los circuitos integrados, el cableado, la batería, el chasis, etc.

El *firmware* los constituyen aquellos programas (software) que se hallan permanentemente instalados en el hardware del ordenador y que son suministrados por el fabricante del PLC. Esto incluye las rutinas fundamentales del sistema, utilizadas para poner en marcha el procesador al aplicar la tensión. Adicionalmente, hay el sistema operativo que, en el caso de los controles lógicos programables, generalmente se halla almacenado en una memoria ROM de sólo lectura o en una EPROM.

Finalmente, hay el *software*, que es el programa escrito por el usuario del PLC. Los programas de usuario se instalan generalmente en la memoria RAM, una memoria de acceso aleatorio, en donde pueden ser fácilmente modificados.

#### 4.2.2 Modo de Funcionamiento de un PLC.



Los programas para el procesamiento convencional de datos, generalmente se procesan una sola vez, de arriba a abajo y terminan. A diferencia de estos, el programa de un PLC se procesado continua y cíclicamente (Fig. 4.4).

Figura 4.4

Las características del procesamiento cíclico son:

- Así que el programa ha sido ejecutado una vez, salta automáticamente al principio y se va repitiendo el proceso continuamente.



- Antes de que se procese la primera línea del programa, es decir, al inicio del ciclo, el estado de las entradas es almacenado en la tabla de imagen de entradas. La imagen del proceso es una zona de memoria aparte a la que se accede durante un ciclo. Así, el estado lógico de una entrada permanece constante durante un ciclo, incluso aunque en este intervalo haya cambiado físicamente.
- De forma similar a la entradas, las salidas no son inmediatamente activadas o desactivadas durante un ciclo, sino que su estado es almacenado temporalmente en la tabla imagen de salidas. Solamente al final del ciclo se activan o desactivan físicamente las salidas según el estado lógico almacenado en la memoria.

El procesamiento de una línea de programa a través de la unidad central de un PLC ocupa un tiempo que, dependiendo del PLC y de la instrucción que contenga puede variar desde unos pocos microsegundos hasta unos pocos milisegundos.

El tiempo requerido por el PLC para una simple ejecución de un programa, incluyendo la actualización de las salidas y la imagen del proceso, se denomina tiempo de ciclo o tiempo de scan. Cuanto más largo sea el programa y cuanto más tiempo necesite el PLC respectivo para procesar cada línea del programa, tanto más largo será el tiempo de ciclo. Los tiempos reales de ciclo varían aproximadamente entre 1 y 100 milisegundos.

Las consecuencias del procesamiento cíclico de un programa de PLC que utilice una imagen del proceso son las siguientes:

- Las señales de entrada de una duración inferior al tiempo de ciclo, posiblemente no serán reconocidas.
- En algunos casos, puede haber un retardo de dos ciclos entre la presencia de una señal de entrada y la deseada reacción de una salida ante esta señal.
- Dado que las instrucciones se procesan secuencialmente, el comportamiento específico de la secuencia de un programa de PLC puede ser crucial.

En algunas aplicaciones, es esencial que pueda accederse directamente a entradas y salidas durante un ciclo. Por ello, este tipo de procesamiento de programa, saltándose la imagen del proceso, también es posible en algunos sistemas PLC.

#### *4.2.3 Memoria de Programas de Aplicación.*

Los programas específicamente desarrollados para determinadas aplicaciones requieren una memoria de programa, de la cual puedan ser leídos por la unidad central. Los requerimientos para tal memoria de programa son relativamente simples de formular:

- Debería ser lo muy sencilla de modificar o de crear y almacenar nuevos programas con la ayuda de un dispositivo programador o un PC.
- Debe haber mecanismos que aseguren que el programa no pueda perderse incluso ante un fallo de tensión o por tensiones de interferencia
- La memoria de programa debe ser económica
- La memoria de programa debería ser suficientemente rápida para no retardar el funcionamiento de la unidad central.

Actualmente, se utilizan tres tipos de memoria en la práctica:

- RAM
- EPROM
- EEPROM

La memoria RAM (random acceso memory / memoria de acceso aleatorio) es una memoria muy rápida y económica. Dado que la memoria principal de los ordenadores (y también de los PLC's) consiste en memorias RAM, se producen en grandes cantidades, lo que le permite disponer de tales memorias a costes relativamente bajos.

Las RAM's son memorias de lectura / escritura y pueden programarse y modificarse fácilmente.

La EPROM ((Fig. 4.5) erasable programmable read-only memory / memoria de sólo lectura, programable y borrrable) también es una memoria rápida y de bajo coste y, en comparación con la RAM tiene la ventaja añadida de que no es volátil, es decir, es remanente. Por ello, el contenido de la memoria permanece inalterable incluso ante un fallo de tensión.



Figura 4.5

Sin embargo, a efectos de modificar un programa, debe borrarse primero toda la memoria y, tras un tiempo de enfriamiento, reprogramarse completamente. El borrado requiere generalmente un dispositivo borrador y para su programación se utiliza un dispositivo especial (grabador de EPROM's).

La EEPROM (electrically erasable programmable ROM / ROM programable y borrrable eléctricamente), EEROM (electrically erasable ROM / ROM borrrable eléctricamente) y la EAROM (electrically alterable ROM / ROM alterable

eléctricamente) o las flash-EPROM han sido utilizadas desde hace algún tiempo. La EEPROM es especial, es ampliamente utilizada como memoria de aplicación en PLC's. La EEPROM es una memoria borrrable eléctricamente, que puede reescribirse.

#### 4.2.4 Módulo de Entradas

El módulo de entradas de un PLC (Fig.4.6) es el módulo al cual están conectados los sensores del proceso. Las señales de los sensores deben pasar a la unidad central. Las funciones importantes de un módulo de entradas (para la aplicación) es como sigue:

- Detección fiable de la señal
- Ajuste de la tensión, desde la tensión de control a la tensión lógica
- Protección de la electrónica sensible de las tensiones externas
- Filtrado de las entradas



Figura 4.6

El principal componente de los actuales módulos de entradas, que cumple con estos requerimientos es el optoacoplador.

**CAPÍTULO 4**

---

El optoacoplador transmite la información del sensor por medio de la luz, creando así un aislamiento eléctrico entre el control y los circuitos lógicos, protegiendo con ello a la sensible electrónica de las tensiones espúreas externas. Actualmente, los optoacopladores avanzados garantizan protección a picos de aproximadamente 5 kV, lo que es adecuado para aplicaciones industriales.

El filtrado de la señal emitida por el sensor es crítica en automatización industrial. En la industria, las líneas eléctricas están generalmente muy cargadas debido a tensiones de interferencia inductivas, que producen muchas interferencias en las señales. Las líneas de las señales pueden protegerse con apantallamientos, canaletas metálicas o, alternativamente, el módulo de entrada del PLC realiza un filtrado por medio de un retardo de la señal de entrada.

Esto necesita que la señal de entrada sea aplicada un período de tiempo suficientemente largo, antes de que sea reconocida como una señal de entrada. Dado que, debido a su naturaleza inductiva, los impulsos de interferencia son principalmente señales transitorias, es suficiente un retardo de la señal de entrada relativamente corto, del orden de milisegundos, para filtrar la mayor parte de los impulsos parásitos.

El retardo de la señal de entrada se realiza principalmente por hardware, es decir, a través de un circuito RC en la entrada del PLC. Sin embargo, en casos aislados, también es posible producir un retardo de la señal por software.

La duración de un retardo de entrada es de aproximadamente entre 1 y 20 milisegundos — dependiendo del fabricante y del tipo. Muchos fabricantes ofrecen entradas especialmente rápidas para aquellas tareas en las que el retardo de la señal de entrada es demasiado larga para reconocer la señal requerida.

Si se utiliza tierra de protección, la tensión de salida del sensor es cortocircuitada hacia los 0 voltios o se funde el fusible en caso de cortocircuito en la línea de señal. Esto significa que se aplica una lógica 0 en la entrada del PLC.

En muchos países, es común utilizar sensores de conmutación negativa, es decir, las entradas del PLC funcionan como fuente de potencia. En estos casos, deben utilizarse diferentes medidas de protección para evitar que se aplique una señal 1 a la entrada del PLC en el caso de un cortocircuito en la línea de la señal. Un posible método es la puesta a tierra de la tensión de control positiva o la supervisión del aislamiento, es decir, tierra de protección como medida de protección.

#### 4.2.5 Módulo de Salida

Los módulos de salida (Fig. 4.7) llevan las señales de la unidad central a los elementos finales de control, que son activados según la tarea. Principalmente, la función de una salida — vista desde la aplicación del PLC incluye lo siguiente:

- Ajuste de la tensión desde la tensión lógica a la de control
- Protección de la electrónica sensible de tensiones ajenas hacia el control
- Amplificación de potencia suficiente para el accionamiento de elementos finales de control
- Protección de cortocircuito y sobrecarga de los módulos de salida

En el caso de módulos de salida, hay disponibles dos métodos fundamentalmente diferentes para conseguir lo indicado: El uso de relés o de electrónica de potencia.

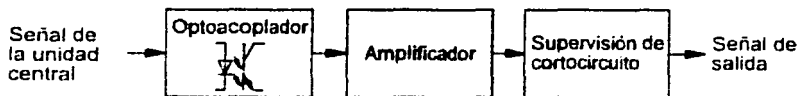


Figura 4.7

El optoacoplador, forma de nuevo la base para la electrónica de potencia y asegura la protección de la electrónica y posiblemente también el ajuste de la tensión.



Un circuito de protección formado por diodos debe proteger el transistor de potencia de los picos de tensión.

Actualmente, la protección ante cortocircuito, protección ante sobrecargas y amplificación de potencia, se ofrecen a menudo como módulos completamente integrados. Las medidas estándar de protección ante cortocircuito miden el flujo de corriente a través de una resistencia de potencia para desconectar en caso de cortocircuito; un sensor de temperatura proporciona una protección ante sobrecargas; una etapa de Darlington o una etapa de transistor de potencia proporcionan la potencia necesaria.

Si se utilizan relés para las salidas, entonces el relé puede asumir prácticamente todas las funciones de un módulo de salida: El contacto del relé y la bobina del relé están eléctricamente aislados uno de otra; el relé representa un excelente amplificador de potencia y está especialmente protegido de sobrecargas, con lo que solamente debe preverse una protección ante cortocircuito con un fusible. Sin embargo, en la práctica se conectan optoacopladores en serie con el relé, ya que ello facilita el accionamiento del relé y pueden utilizarse relés más sencillos.

En el caso de un cortocircuito de la línea de señal de salida a tierra, la salida se cortocircuita si se utilizan medidas normales de puesta a tierra de protección. La

electrónica conmuta a protección de cortocircuito o se funde el fusible, es decir, el dispositivo consumidor no puede drenar corriente por lo que se desconecta y queda en estado seguro. (De acuerdo con DIN 0113, el estado de seguridad debe ser siempre el estado sin energía.)

Si se utilizan salidas de conmutación negativa, es decir, la salida representa un drenaje de corriente, deben adoptarse medidas de protección del tal forma que el dispositivo consumidor quede en un estado seguro en el caso de cortocircuito en la línea de señal. De nuevo, un tierra de protección con supervisión del aislamiento o la neutralización de la tensión de control positiva son prácticas estándar en este caso.

#### *4.2.6 Dispositivo Programador / Ordenador Personal*

Cada PLC tiene una herramienta de diagnóstico y programación para soportarla aplicación del PLC

- Programación
- Verificación
- Puesta punto
- Localización de averías
- Documentación del programa

- Almacenamiento del programa

Estas herramientas de programación y diagnóstico son o bien dispositivos de programación específicos del fabricante u ordenadores personales con su software correspondiente. Actualmente, estos últimos son casi exclusivamente las variantes preferidas, ya que la enorme capacidad de los modernos PC's, combinada con su comparativamente bajo coste inicial y alta flexibilidad, representan ventajas cruciales.

Las funciones esenciales del sistema de software forman parte de la herramienta de programación y diagnóstico.

Cualquier software de programación según IEC 1131-1 deben proporcionar al usuario una serie de funciones. Así, el software de programación comprende módulos de software para:

- Introducción de programas

Creación y modificación de programas en uno de los lenguajes de programación del un PLC

- Verificación de la sintaxis

Comprobación de la sintaxis del programa y los datos, minimizando así la introducción de programas defectuosos.

- Traductor

Traducción del programa introducido en un programa que puede ser leído y procesado por el PLC, es decir, la generación del código máquina del correspondiente PC.

- Conexión entre PLC y PC

A través de este enlace se realiza la carga de los programas al PLC y la ejecución de funciones de verificación

- Funciones de verificación

Ayuda al usuario durante la escritura y en la eliminación de fallos y verificación a través de:

- una verificación del estado de las entradas, salidas temporizado-res, contadores, etc.
- verificación de secuencias de programa por medio de operaciones de paso a paso, órdenes de STOP, etc.

- simulación por medio de activación manual de entradas/salidas, establecimiento de valores, etc.

- Indicación del estado de sistemas de control

Emisión de información relacionada con la máquina, proceso y estado del sistema

PLC:

- Indicación del estado de señales de entrada y salida
- Registro/indicación de cambios de estado en señales externas y datos internos
- Supervisión de los tiempos de ejecución
- Formato en tiempo real de la ejecución del programa

- Documentación

Creación de una descripción del sistema PLC y el programa del usuario. Esto consiste en:

- Descripción de la configuración del hardware
- Impresión del programa de usuario con los correspondientes datos e identificadores para las señales y comentarios
- Lista de referencias cruzadas para todos los datos procesados tales como entradas, salidas, temporizadores, etc.
- Descripción de las modificaciones

- Archivado del programa de usuario

Protección del programa de usuario en memorias no volátiles tales como EPROM, etc.

### **4.3 Programación de un PLC.**

#### *4.3.1 Búsqueda de una Solución Sistemática.*

Los programas de control representan un componente importante en un sistema de automatización.

Los programas de control deben ser diseñados sistemáticamente, bien estructurados y completamente documentados, para que sean:

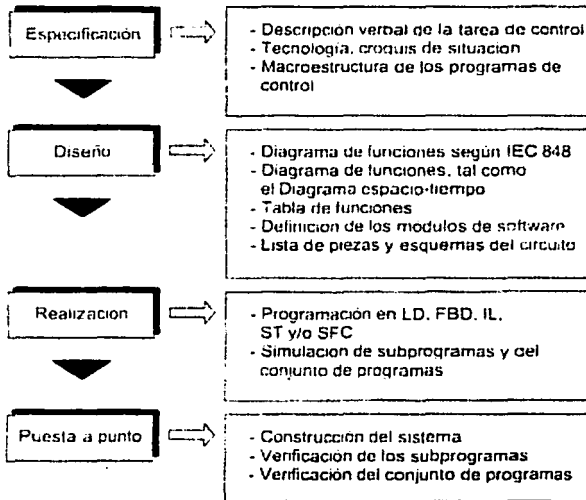
- libres de errores,
- fáciles de mantener y
- económicos

El procedimiento para el desarrollo de un programa de PLC que se muestra en la Fig. 4.8 ha sido probado y verificado. La división en secciones definidas conduce a

un funcionamiento sistemático y objetivado, y proporciona una disposición de resultados clara, que puede verificarse en relación con la tarea.

El modelo de fases consiste en las siguientes secciones:

- Especificación: Descripción de la tarea
- Diseño: Descripción de la solución
- Realización: Puesta en práctica de la solución
- Integración / puesta a punto: Incorporación en el entorno y verificación de la



solución, que básicamente pueden aplicarse a todos los proyectos técnicos. Se producen diferencias en los métodos y herramientas utilizados en las fases individuales.

Figura 4.8

El modelo de fases puede aplicarse a programas de control de complejidad diversa; para tareas de control complejas, es absolutamente esencial la utilización de tales modelos.

Las fases individuales del modelo se describen abajo.

**Fase 1: Especificación (Formulación del problema).** En esta fase, se formula una descripción detallada y precisa de la tarea de control. La descripción específica de la función del sistema de control, formalizada al máximo, revela cualquier requerimiento conflictivo, especificaciones incompletas o equivocadas.

Al final de esta fase se dispone de lo siguiente:

- Descripción escrita de la tarea de control
- Estructura / distribución
- Macroestructuración del sistema o proceso y con ello un esbozo de la estructura de la solución.

**Fase 2: Diseño (Forma concreta del concepto de la solución).** Un concepto de solución se desarrolla basándose en las definiciones establecidas en la fase 1. El método utilizado para describir la solución debe proporcionar un gráfico y una



descripción orientada al proceso, a la función y comportamiento del sistema de control, y debe ser independiente de la realización técnica.

Estos requerimientos se cumplen con el diagrama de funciones (FCH) según define DIN 40 719, Parte 6 o IEC 848. Empezando con una representación de una visión de conjunto del control (esbozo de la estructura de la solución), la solución puede refinarse paso a paso hasta que se obtenga un nivel de descripción que contenga todos los detalles de la solución (refinamiento de un esbozo de estructura).

En el caso de tareas de control complejas, la solución es estructurada, en paralelo con esto, en módulos de software individuales. Estos módulos de software realizan las etapas de trabajo del sistema de control. Estos pueden ser funciones especiales como la realización de un interface para la visualización del proceso, o sistemas de comunicación, o incluso etapas de trabajo recurrentes permanentemente.

El diagrama desplazamiento-fase, representa otra forma estándar para la descripción de sistemas de control aparte del diagrama de funciones según DIN 40 719, Parte 6.

Fase 3: Realización (Programación del concepto de la solución). La traducción del concepto de la solución en un programa de control se realiza a través de los lenguajes de programación definidos en IEC 1131 -3. Estos son: diagrama de

**CAPÍTULO 4**

---

funciones secuencial, diagrama de bloques de función, diagrama de contactos, lista de instrucciones y texto estructurado.

Los sistemas de control que funcionan en un proceso tiempo / lógica y están disponibles en FCH según DIN 40 719, P.6, pueden ser clara y fácilmente programados en diagrama de funciones secuencial. Un diagrama de funciones secuencial, en la medida de los posible, utiliza los mismos componentes para la programación que los utilizados para la descripción en el diagrama de funciones según DIN 40 719, P.6.

Diagrama de contactos, diagrama de bloques de función y lista de instrucciones son los lenguajes de programación adecuados para la formulación de operaciones básicas y para sistemas de control que pueden ser descritos por simples señales lógicas combinadas por operaciones booleanas.

El lenguaje de alto nivel denominado 'texto estructurado' se utiliza principalmente para crear módulos de software de contenido matemático, tales como módulos para la descripción de algoritmos de regulación.

En la medida en que los sistemas de programación de PLC's lo permitan, los programas de control o parte de los programas creados, deberían ser simulados antes

de la puesta a punto. Esto permite la detección y eliminación de errores ya en una etapa inicial.

Fase 4: Puesta a punto (Construcción y verificación de una tarea de control). Esta fase verifica la interacción del sistema de automatización y la planta conectada. En casos de tareas complejas, es aconsejable poner a punto el conjunto de forma sistemática, paso a paso. Los fallos, tanto en el sistema como en el programa de control, pueden hallarse y eliminarse fácilmente utilizando este método.

Documentación. Un componente importante y crucial de un sistema es la documentación, ya que es un requerimiento esencial para el mantenimiento y ampliación de un sistema. La documentación, incluyendo los programas de control, debería estar disponible tanto en papel como en un soporte de almacenamiento de datos. La documentación consiste en la información sobre las fases individuales, listados del programa de control y de cualquier información adicional posible concerniente al programa de control. Individualmente estos son:

- Descripción del problema
- Croquis de situación
- Esquema del circuito
- Esquema técnico

- Listados del programa de control en SFC, FBD, etc.
- Lista de asignaciones de entradas y salidas  
(esto también forma parte de los listados del programa de control)
- Documentación adicional

#### *4.3.2 Lenguajes de Programación.*

IEC 1131-3 define cinco lenguajes de programación. Aunque la funcionalidad y estructura de estos lenguajes es muy diferente, son tratados como una sola familia de lenguajes por IEC 1131-3, con elementos de estructura solapados (declaración de variables, partes de organización tales como funciones y bloques de función, etc.) y elementos de configuración.

Los lenguajes pueden mezclarse de cualquier forma dentro de un proyecto de PLC. La unificación y estandarización de estos cinco lenguajes representa un compromiso de requerimientos históricos, regionales y específicos de cada sector. Se ha previsto la futura expansión (tal como el principio de bloque de función o el lenguaje de Texto Estructurado); además, se ha incorporado la información necesaria sobre detalles tecnológicos (tipo de datos, etc.)

Los elementos del lenguaje son explicados con la ayuda de un proceso de mecanizado involucrado en la producción de válvulas. Se utilizan dos sensores para establecer si una pieza con los talados correctamente realizados está disponible en la posición de mecanizado. Si la válvula a mecanizar es del tipo A o el tipo B — esto se establece con dos interruptores selectores — el cilindro avanza y mete la funda en el taladro realizado.

El Diagrama de contactos o Diagrama en escalera (Ladder diagram) LD (Fig. 4.9). El Diagrama de contactos es un lenguaje de programación gráfico derivado de los esquemas de circuitos de los mandos por relés directamente cableados. El diagrama de contactos contiene líneas de alimentación a derecha e izquierda del diagrama; a estas líneas están conectados los reglones, que se componen de contactos (normalmente abiertos y normalmente cerrados) y de elementos de bobina.

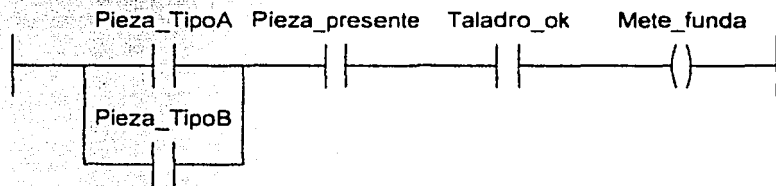


Figura 4.9

Diagrama de bloques de función (Function block diagram) FBD (Fig 4.10). En el diagrama de bloques de función, las funciones y los bloques de función están representados gráficamente e interconectados en redes. El diagrama de bloques de

función tiene su origen en el diagrama lógico que se utiliza en el diseño de circuitos electrónicos.

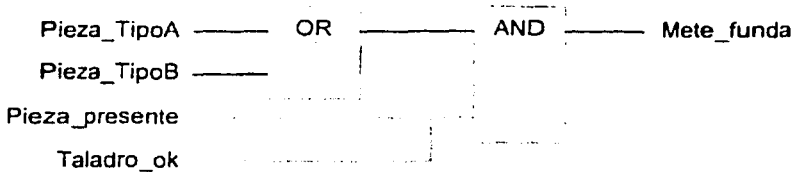


Figura 4.10

Lista de Instrucciones (Statement list o Instruction List) IL. La lista de instrucciones es un lenguaje textual tipo *assembler*, caracterizado por un modelo de máquina simple (procesador con un sólo registro). La lista de instrucciones se formula a partir de instrucciones de control consistentes en un operador y un operando. Ejemplo:

```

LD  Pieza_TipoA
OR  Pieza_TipoB
AND Pieza_presente
AND Taladro_ok
ST  Mete_funda
  
```

En lo que se refiere a filosofía de lenguaje, el diagrama de contactos, el diagrama de bloques de función y la lista de instrucciones han sido definidos en la forma en que son utilizados en la actual tecnología de PLC. Sin embargo, están limitados a las

funciones básicas en lo que concierne a sus elementos. Esto los aparta esencialmente de los dialectos que las empresas utilizan en la actualidad. La competitividad de estos lenguajes es mantenida debido al uso de bloques y bloques de función.

Texto estructurado (Structured text) ST. El texto estructurado es un lenguaje de alto nivel basado en Pascal, que consiste en expresiones e instrucciones. Las instrucciones pueden definirse principalmente como: Instrucciones de selección, tales como IF... THEN... ELSE, etc, instrucciones de repetición tales como FOR, WHILE etc. y llamadas a bloques de función.

Ejemplo de lenguaje en texto estructurado:

```
Mete_funda := (Pieza_TipoA OR Pieza_TipoB) AND Pieza_presente AND  
Taladro_OK
```

El texto estructurado permite la formulación de numerosas aplicaciones, más allá de la pura tecnología de funciones, tales como algoritmos (algoritmos de regulación de nivel superior, etc.) y manejo de datos (análisis de datos, procesamiento de estructuras de datos complejas, etc.)

Diagrama de funciones secuencial (Sequential function chart) SFC. El diagrama de funciones secuencial (casi idéntico al GRAFCET francés) es un recurso de lenguaje para la estructuración de los programas de control orientados a secuencias.

Los elementos del diagrama de funciones secuencial son las etapas, las transiciones y las derivaciones alternativas y en paralelo.

Cada etapa representa un estado del proceso de un programa de control, que se halla activo o inactivo. Una etapa consiste en acciones que, al igual que las transiciones, están formuladas en los lenguajes IEC 1131-3. Las propias acciones pueden contener de nuevo estructuras secuenciales. Esta característica permite la estructura jerárquica de un programa de control. Por lo tanto, el diagrama de funciones secuencial es una herramienta excelente para el diseño y la estructuración de programas de control.

#### **4.4 Diagrama de Contactos**

##### *4.4.1 Elementos del Diagrama de Contactos*

El lenguaje de diagrama de contactos (o diagrama en escalera), al igual que del diagrama de bloques de función representa un lenguaje de programación gráfico.



## CAPÍTULO 4

Los elementos disponibles en un diagrama de contactos son los contactos y las bobinas en diferentes formas. Estas están dispuestas en renglones (rungs) entre las dos líneas verticales de mando a derecha e izquierda.

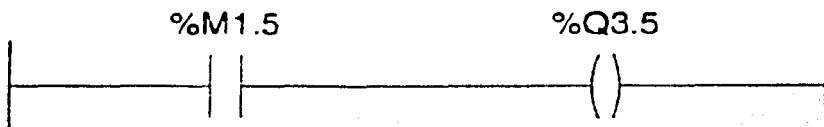


Figura 4.11

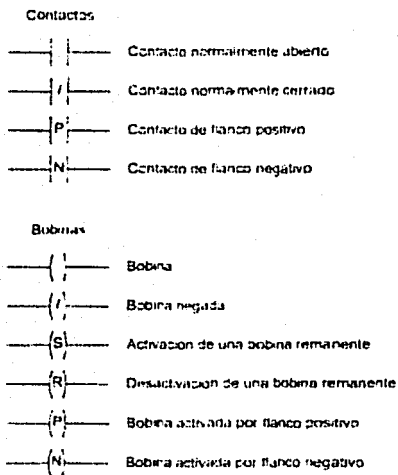


Figura 4.12

La Fig. 4.11 ilustra la estructura básica de un reglón. En este ejemplo, el estado del flag %M1.5 está directamente asignado a la salida %Q3.5. La Fig. 4.12 contiene una lista de los elementos más importantes asignados a un diagrama de contactos.

Un contacto normalmente abierto suministra el valor 1 cuando se activa el accionamiento del correspondiente interruptor. Un contacto normalmente cerrado

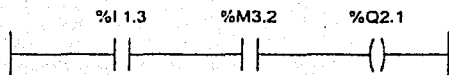
reacciona correspondientemente con el valor 1, cuando no se activa el correspondiente interruptor o pulsador.

Hay dos señales de flanco, que suministran señal 1 para la transición de 0 a 1 (flanco positivo) y de 1 a 0 (flanco negativo).

Con una bobina normal, el resultado (resultado de la operación lógica entre los contactos) es copiado a la variable específica; en el caso de una bobina negada, se transfiere el inverso (negación) del resultado.

La bobina de activación remanente asume el valor 1, si el resultado es 1, y permanece inalterable aunque el resultado pase a ser 0. De forma similar, la bobina de desactivación remanente asume el valor 0 si el resultado es 1. Se mantiene el estado 0 de la bobina.

a) Función AND



Los flancos de las bobinas se activan si el resultado cambia de 0 a 1 (flanco positivo) o de 1 a 0 (flanco negativo).

b) Función OR

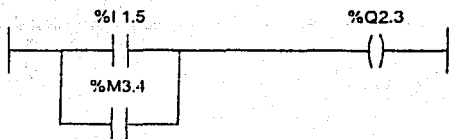


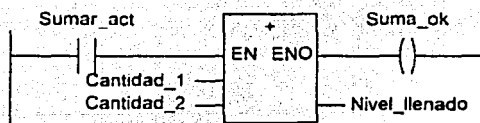
Figura 4.13

Las funciones básicas AND y OR (Fig. 4.13) pueden ser realizadas por medio de una configuración correspondiente de contactos en el renglón actual.

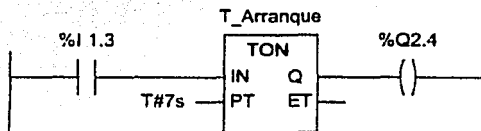
#### 4.4.2 Funciones y Bloques de Función

Aparte de los elementos de contacto y bobina, LD proporciona el uso ilimitado de funciones y bloques de función siempre que esta función esté soportada por el control utilizado.

##### a) Incorporación de funciones



##### b) Invocación de un bloque de función

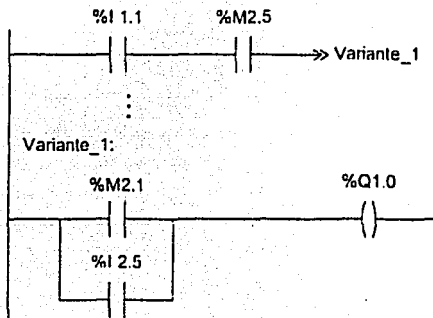


Un requisito previo para la incorporación de las denominadas unidades de organización, es la disponibilidad de por lo menos una entrada booleana y una salida booleana del bloque en cuestión.

Figura 4.15

Si no es este el caso, la entrada booleana con el parámetro formal EN (enable/habilitación) se añade a las correspondientes funciones o módulos de función así como una salida booleana ENO (enable OK /habilitación correcta). Las entradas/salidas booleanas son necesarias para permitir que la potencia fluya a través del bloque.

#### 4.4.3 Evaluación de los Renglones Actuales



De forma similar al lenguaje de programación gráfico FBD, el flujo de potencia, y como tal el procesamiento de una unidad de organización del programa, es de izquierda a derecha y de arriba a abajo.

Figura 4.16

De forma similar la secuencia de procesamiento también puede cambiar en LD utilizando elemento para el control de la ejecución.

## 4.5 Sistemas de Control Lógico

### 4.5.1 ¿Qué es un sistema de control?

Los sistemas de control lógico son controladores programados a través del uso de operaciones booleanas. Todas las operaciones lógicas son procesadas y ejecutadas durante un ciclo de máquina.

Las tareas de control realizadas típicamente en forma de control lógico, se caracterizan por el hecho que no se asigna una duración de tiempo al proceso, sino que todas o la mayor parte de las condiciones del programa de control son examinadas simultáneamente.

Por ello pueden encontrarse ejemplos de sistemas de control lógico en aplicaciones de PLC, en donde son importantes los aspectos de seguridad. A menudo se requiere que la supervisión de ciertas tareas sea permanente e independiente de la ejecución del proceso en relación con el tiempo. Estos requerimientos se aplican, por ejemplo en:

- Circuitos de protección: un dispositivo solamente puede cargar si todos los dispositivos de protección están conectados.

- Enclavamiento de seguridad

#### *4.5.2 Sistemas de Control Lógico sin Propiedades Memorizantes*

Los sistemas de control lógico sin propiedades memorizantes (combinatorios) pueden describirse por medio de una combinación de operaciones booleanas, mientras que las señales de salida de un control están determinadas por una combinación de señales de entrada en un determinado momento.

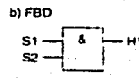
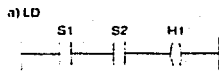
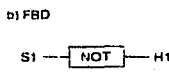
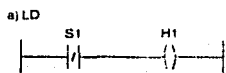
Las operaciones lógicas básicas AND, OR y NOT pueden utilizarse para crear operaciones lógicas completas — y por lo tanto, también sistemas de control.

Se utilizan diversos métodos del álgebra booleana, tales como tablas de función, ecuaciones booleanas y la forma normal disyuntiva (DNF) para describir el problema y hallar la solución. La importancia de estos métodos se demuestra entre otras cosas en las aplicaciones más complejas para los sistemas de control lógico. La programación real de un sistema de control lógico es preferible hacerla en los lenguajes de diagrama de contactos o el diagrama de bloques de función.

Lo que sigue representan tareas básicas de la tecnología de control, tales como las operaciones booleanas que se realizan por medio de un PLC.

**CAPÍTULO 4**

Las soluciones están representadas en los lenguajes LD, FBD, IL y ST. Las secciones con la solución están precedidas por una declaración de las entradas y salidas necesarias para el PLC. Además, se relacionan también las opciones de descripción de una tabla de función y la ecuación booleana (Fig. 4.16, 4.17, 4.18 y 4.19).



c) IL  
LDN S1  
ST H1

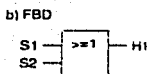
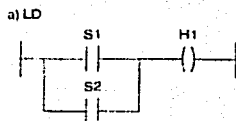
d) ST  
H1 := NOT S1;

c) IL  
LD S1  
AND S2  
ST H1

d) ST  
H1 := S1 AND S2;

Figura 4.16

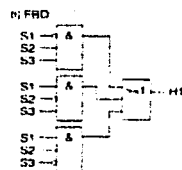
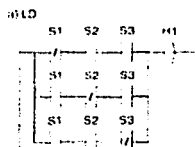
Figura 4.17



c) IL  
LD S1  
OR S2  
ST H1

d) ST  
H1 := S1 OR S2;

Figura 4.18



c) IL  
LD I S3  
AND S2  
ANDW S1  
I  
OR I S1  
ANDW S2  
AND S3  
I  
OR I S1  
AND S2  
ANDW S3  
I  
ST H1

d) ST  
H1 := (NOT S1 AND S2 AND S3)  
OR (S1 AND NOT S2 AND S3)  
OR (S1 AND S2 AND NOT S3);

Figura 4.19

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

### 4.5.3 Sistemas de Control Lógico con Función Memorizante

Muchas aplicaciones de PLC requieren operaciones memorizantes. Una función memorizante consiste en la retención, es decir, el almacenamiento, del estado de una señal de breve duración. En un instante determinado, las señales de salida no sólo dependen de la combinación de las señales de entrada, sino también de los "estados previos".

IEC 1131-3 define dos bloques de función para la realización de funciones de memoria. Estos son el bloque de función SR (activación prioritaria (Fig. 4.20)) y RS (desactivación prioritaria (Fig. 4.21)).

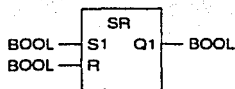


Figura 4.20

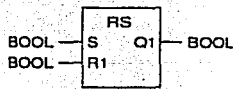


Figura 4.21

## 4.6 Sistemas de Control Secuencial

### 4.6.1 ¿Qué es un Sistema de Control Secuencial?

Los sistemas de control secuencial son procesos que se realizan en varias etapas claramente separadas. El paso de una etapa a otra depende de las condiciones de



habilitación del paso. Una característica importante es que, en una determinada secuencia, sólo puede estar activa una etapa, a no ser que se hayan programado explícitamente secuencias paralelas cuyas etapas deban ejecutarse simultáneamente.

Comparado con un sistema de control lógico (combinatorio), ofrece las siguientes ventajas:

- el programa se divide en etapas y por lo tanto es más claro de seguir, modificar y ampliar.
- los sistemas de control secuencial pueden programarse gráficamente en forma de diagrama de funciones secuencial (también denominado GRAFCET - Gráfico de Etapas y Transiciones).
- la detección de errores en una secuencia de control representada gráficamente, es en general más fácil de seguir que en los sistemas de control con lógica combinatoria.

Ejemplos típicos de controles secuenciales son los controles de máquinas en el campo de la tecnología de producción o controles receptivos en la tecnología de procesos.

#### 4.6.2 Diagrama Desplazamiento-Paso

El diagrama de desplazamiento-paso (o desplazamiento-fase) representa gráficamente una secuencia de control (Fig. 4.22).

Cada uno de los sensores y actuadores están dispuestos verticalmente en el diagrama, y cada una de los pasos del control se halla representado horizontalmente. Una línea de función indica el estado de la señal del correspondiente elemento de señalización en cada paso. Las líneas de señal enlazan las líneas de función individuales e indican qué elemento de señalización en el proceso dispara cada acción. Una flecha indica el sentido de la acción. El diagrama se clarifica posteriormente con símbolos.

El diagrama de desplazamiento-paso lo dibuja generalmente el diseñador de la máquina o sistema. Cuando se resuelve una tarea de control, es útil trazar el diagrama de desplazamiento-paso como etapa previa a la programación del PLC.

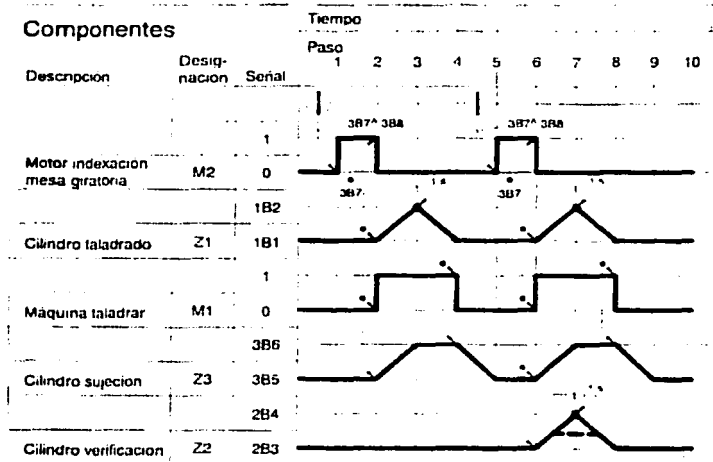


Figura 4.23

# **PROYECTO NEUMÁTICA**

---

## **CAPITULO 5**

### **5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA:**

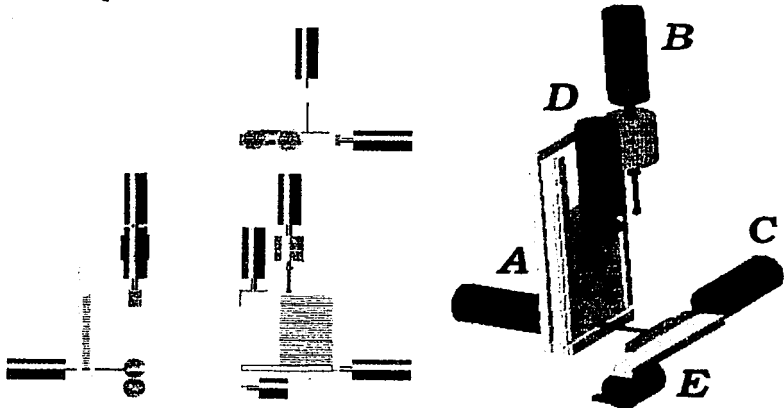
En la elaboración de una mensula se establece la siguiente línea de producción:

En un alimentador por gravedad, el cilindro A es el que saca una pieza de metal colocándola y sirviendo como guía. Un segundo actuador B colocado perpendicularmente al área de la pieza lleva un taladro el cual hace una perforación a la pieza regresando a su posición inicial, completada esta secuencia se inicia la tercera fase de este proceso. El actuador C empuja a la pieza colocándola en la

CAPÍTULO 5

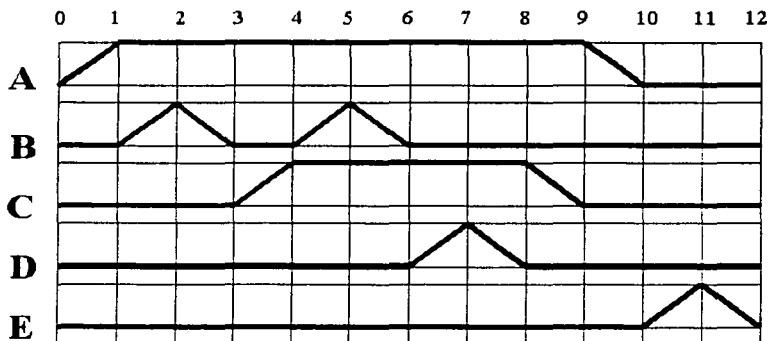
posición 2, donde por segunda ocasión el actuador B realiza su trabajo. En la cuarta etapa de este proceso el actuador D colocado en la misma posición que el actuador B pero a diferente distancia tiene en la punta una herramienta en forma de un dispositivo doblador el cual efectuara el doblado de esta pieza y regresará a su posición inicial dando la pauta para que los actuadores C y A regresen a su estado de reposo en ese orden. Dado por concluido el retorno de estos actuadores, es activado un quinto y último actuador E el cual despachara a la pieza terminada que caerá por gravedad a un deposito, con este último se concluye un ciclo en la elaboración de estas piezas.

5.2 CROQUIS DE SITUACIÓN

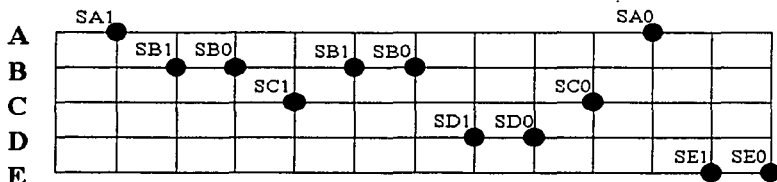


### 5.3 MÉTODO PASO A PASO

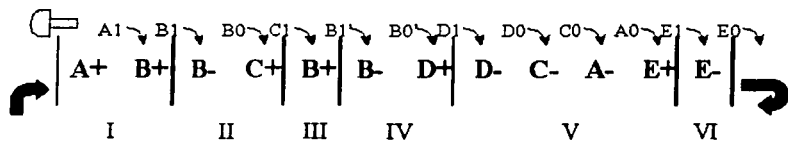
#### 5.3.1 Diagrama espacio fase



#### 5.3.2 Análisis de Sensores



#### 5.3.3 Ecuación de movimientos



CAPÍTULO 5

5.3.4 Diagrama de Conexiones

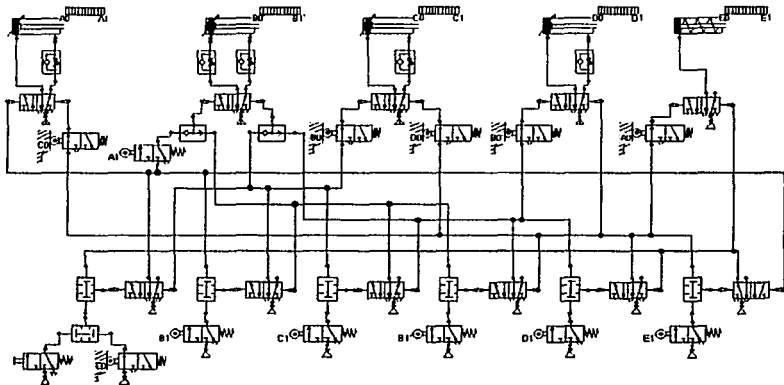
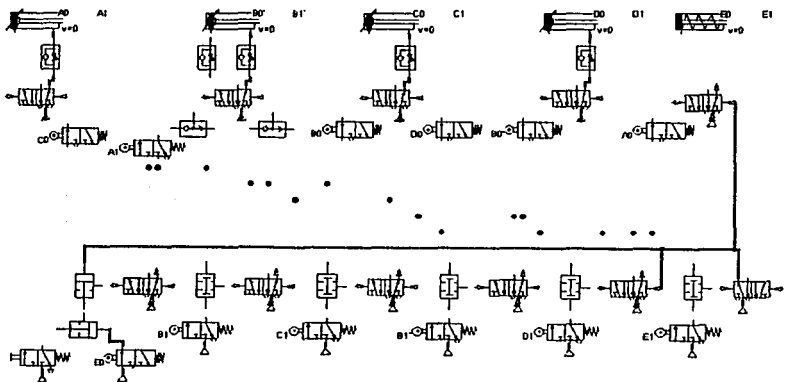


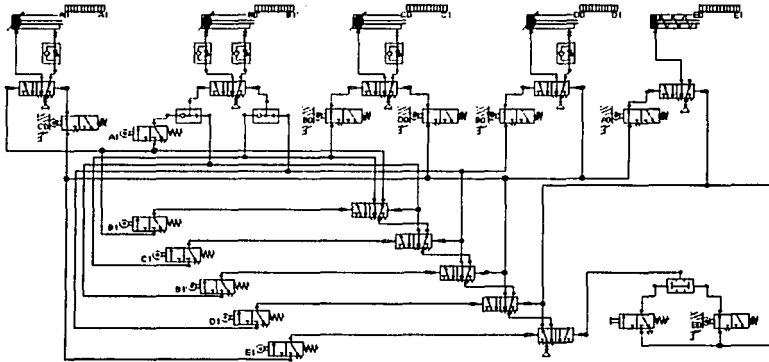
Diagrama de Conexiones (Circuito Alimentado)



CAPÍTULO 5

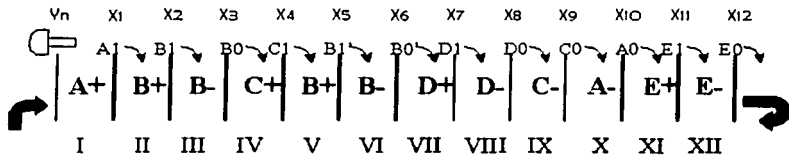
5.4 MÉTODO CASCADA

5.4.4 Diagrama de Conexiones<sup>1</sup>



5.5 MÉTODO DE CADENAS DE SECUENCIA (PASO A PASO MÁXIMO)

5.5.3 Ecuación de Movimientos<sup>2</sup>

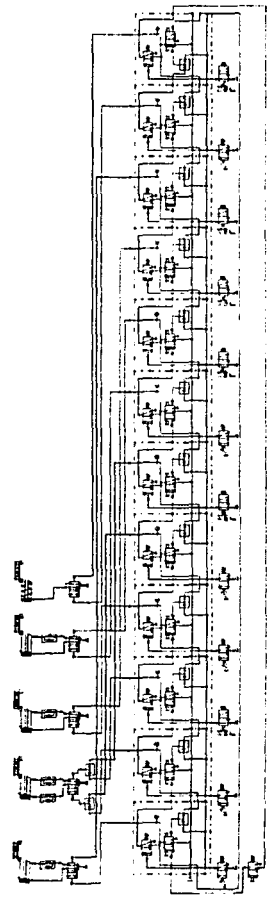


<sup>1</sup> Los pasos 5.4.1, 5.4.2 y 5.4.3 del Método Cascada son los mismos que en los pasos 5.3.1, 5.3.2 y 5.3.3 del Método Paso a Paso

<sup>2</sup> Los pasos 5.5.1 y 5.5.2 del Método de Cadenas de Secuencia son los mismos que los pasos 5.3.1 y 5.3.2 del Método Paso a Paso

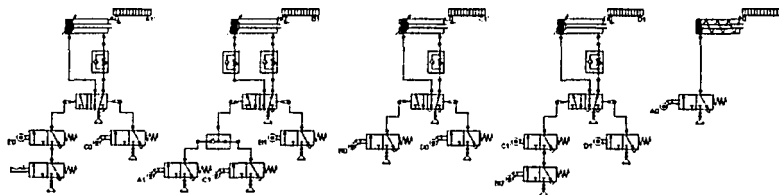


5.5.4 Diagrama de Conexiones



5.6 MÉTODO BÁSICO

Diagrama de Conexiones

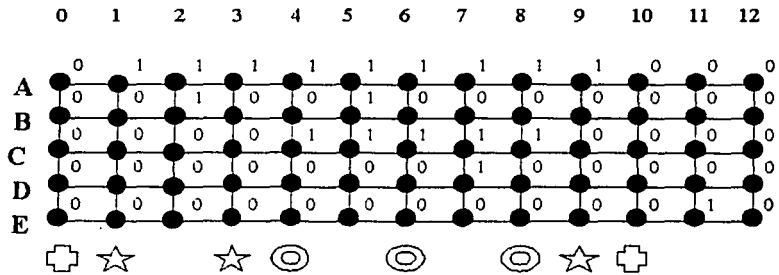


# PROYECTO ELECTRONEUMÁTICA

## CAPITULO 6

### 6.1 MÉTODO PASO A PASO

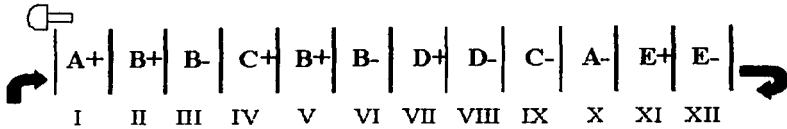
#### 6.1.3 Análisis de Sincronía<sup>1</sup>



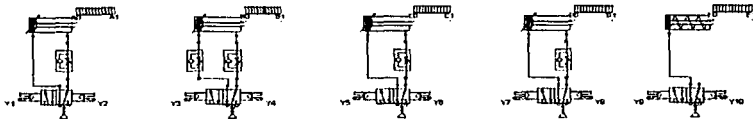
<sup>1</sup> Los pasos 6.1.1 y 6.1.2 del Método Paso a Paso en Electroneumática son los mismos que en los pasos 5.3.1 y 5.3.2 del Método Paso a Paso en Neumática

CAPÍTULO 6

6.1.4 Ecuación de Movimientos



6.1.5 Diagrama Neumático



6.1.6 Diagrama de Conexiones

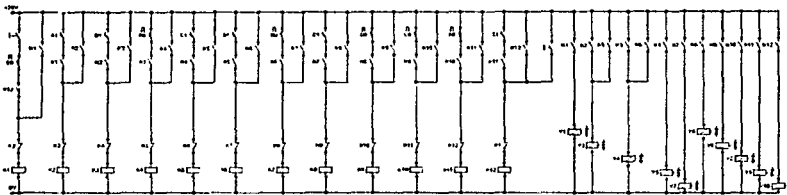
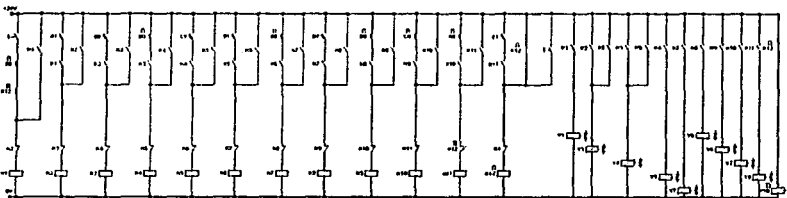
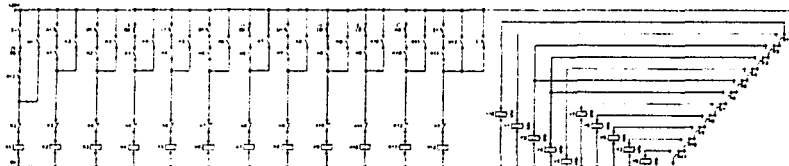


Diagrama de Conexiones (Alimentado)



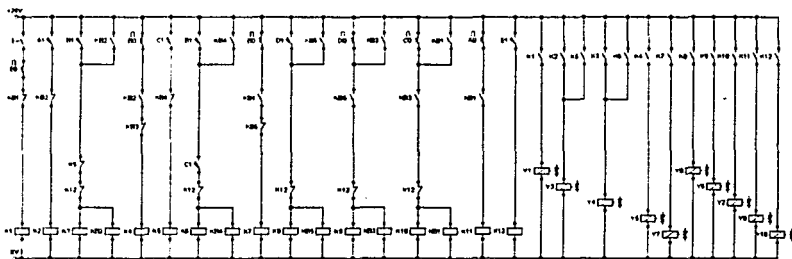
## 6.2 MÉTODO CASCADA

### 6.2.6 Diagrama de Conexiones<sup>2</sup>



## 6.3 MÉTODO BANDERA

### 6.3.6 Diagrama de Conexiones<sup>2</sup>

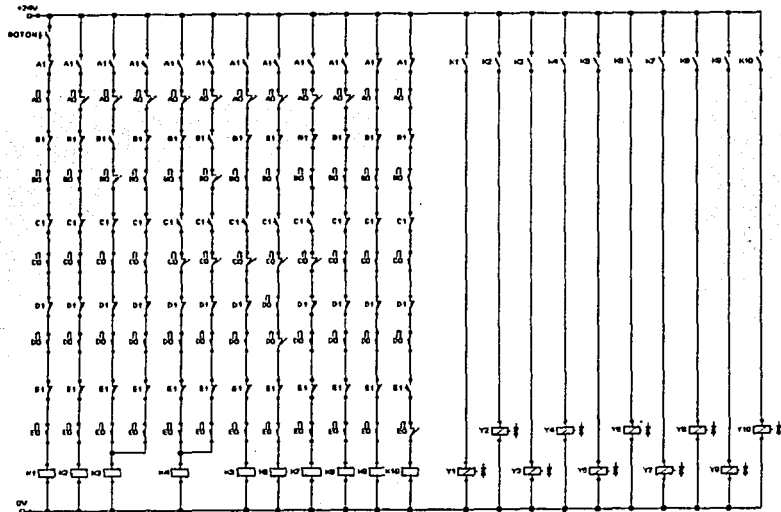


<sup>2</sup> Los pasos 6.2.1 y 6.2.2 del Método Cascada y 6.3.1 y 6.3.2 del Método Bandera en Electroneumática son los mismos que los pasos 5.3.1 y 5.3.2 del Método Paso a Paso en Neumática y los Pasos 6.2.3, 6.2.4 y 6.2.5 del Método Cascada y los Pasos 6.3.3, 6.3.4 y 6.3.5 del Método Bandera son los mismos que los pasos 6.1.3, 6.1.4 y 6.1.5 del Método Paso a Paso en Electroneumática

CAPÍTULO 6

6.4 MÉTODO BÁSICO

Diagrama de Conexiones



# **PROYECTO PLC's**

---

## **CAPITULO 7**

### **7.1 PROGRAMACIÓN FST (FESTO SOFTWARE TOOL)**

Este programa se ha diseñado con el propósito de ofrecer de una forma sencilla y clara la posibilidad de programar los PLC's de FESTO, el ambiente de trabajo para los diferentes PLC's es el mismo, de tal modo que el usuario al aprender a manejar un modelo tiene el conocimiento de programar el resto. Sin embargo debido a que cada modelo de PLC FESTO tiene un microprocesador diferente requiere de un compilador diferente y esta es la razón por la cual para cada modelo de PLC existe un programa.

**CAPÍTULO 7**

---

Los requisitos de la computadora para correr estos programas son mínimos:

Microprocesador desde 8086, se recomienda 80386.

Disco duro con un espacio libre de 3 Mbytes.

Puerto serial con una configuración 9600, n, 8, 1.

Se recomienda correr desde MSDOS para la comunicación con el PLC.

#### 7.1.1 Los PLC's FESTO FEC-20 (Características generales).

Opera a 24 VCD o de 110 a 265 VAC con un máximo de 40 1 / 0's digitales, entradas configurables como NPN o PNP, salidas por relevador, microprocesador AM186 (compatible intel 80186), comunicación serial RS-232 optoaislado para programación y monitoreo desde PC.

Procesa-miento monobit y multibit, contiene operaciones aritméticas y lógicas; sistema de autodiagnóstico. 64 KB de memoria flash (sin necesidad de respaldo por batería) para el programa del usuario. 256 contadores, 256 temporizadores, 256 registros y 10000 Palabras de banderas, de 16 bits.

Multitasking de hasta 64 programas y programación en lenguaje Escalera y Listado de instrucciones.



**CAPÍTULO 7**

El FEC esta diseñado como un sistema de control industrial versátil y de bajo costo. sin dejar las características de calidad y protección en las entradas y en el puerto de comunicación serial; puede instalarse fácil, rápidamente y que puede ser manejado por personas con poca experiencia en Controles Lógicos Programables.

7.1.2 Especificaciones Físicas.

<b>Función</b>	<b>Unidad básica</b>	<b>Unidad básica</b>
Tipo	E. FEC-20-DC	E. F EC-20-AC
No. de articulo	177428	177429
<b>General</b>		
Dimensiones (mm.)	1 30x80x60	1 30x80x60
Voltaje de alimentación	24 Vcd +20% a-15%	100.. .265 Vac
Consumo de energía	10W	15VA
Conexión de E/S	Por tornillo	Por tornillo
<b>Entradas digitales</b>		
Número total / de	12 (PNP/NPN) /	12 (PNP/NPN) /

Conteo rápido	2 (máx. 4 KHz)	2 (máx. 4 KHz)
Voltaje de entrada/ corriente	24 Vcd 7mA	24 Vcd 7mA
Tiempo de filtrado	5ms	5ms
Aislamiento eléctrico	optoacoplador	optoacoplador
Visualización de estado	LED	LED
Tensión ON	15 Vcd mm.	15 Vcd. mm.
Tensión OFF	5Vcd. máx.	5 Vcd. máx.
<b>Salidas digitales</b>		
Número	8	8
Tipo de salida	relé	relé
Aislamiento eléctrico	sí	sí
Grupos de aislamiento	4/2/2	4/2/2
Voltaje máx. de conn.	250Vac, 30Vcd	250Vac, 30Vcd
Máxima corriente	2A	2A
Carga máxima	80VA inductivas o 100W resistivas	80VA inductivas o 100W resistivas
Tiempo de retardo	10 ms	10 ms
Vizualización de edo.	LED	LED

## 7.1.3 Vida de los contactos de los reléadores de salida (Características Generales).

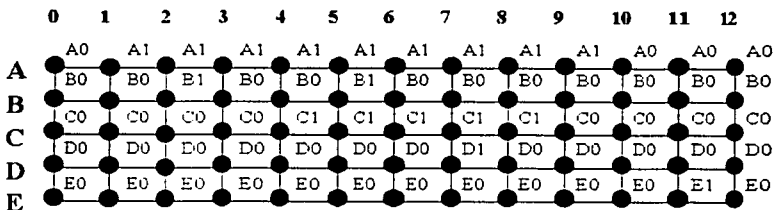
Corriente en la carga	Carga resistiva	Carga inductiva
sin corriente	20,000,000 ciclos	20,000,000 ciclos
0.2A	1,000,000 ciclos	800,000 ciclos
1A	500,000 ciclos	300,000 ciclos
2A	300,000 ciclos	100,000 ciclos

<b>Margen de temperaturas</b>	
Temperatura de almacenamiento y transporte	-25.....+70oC 0.....55oC
Temperatura ambiente	
Humedad	
Humedad relativa (a 25oC) sin condensación	0.....95% (máx)
<b>Datos técnicos</b>	
Características de hardware y software	AM186- (20 MHz), Compatible
Procesador	intel 80186

Memoria de programa (compilado)	256 kB 16 bit flash (>100.000 ciclos de lectura/escritura)
Memoria de trabajo	256 kB 16 bit SRAM
Almacenamiento de datos	32 kB (2 kB remanentes en memoria flash)
Almacenamiento programa (fuente)	64 kB en memoria flash
Interface de programación	RS232 3-hilos, 9600 baud, optoaislado (conexión RJ11 mini)
Interface ampliación	Serie asincrono TTL (conexión RJ12 ) 4 hilos, máx 115 kbaud
Controles operacionales	Interruptor RUN/STOP
<b>Indicador de funcionamiento</b>	LED RUN Amarillo      Paro Verde        Marcha Rojo         Error
Sistema operativo	Runtime kernel FST-IPC/FEC
Software de programación	FST-IPC/ FEC

## 7.2 DESARROLLO DEL PROGRAMA

### 7.2.1 Análisis de Sensores

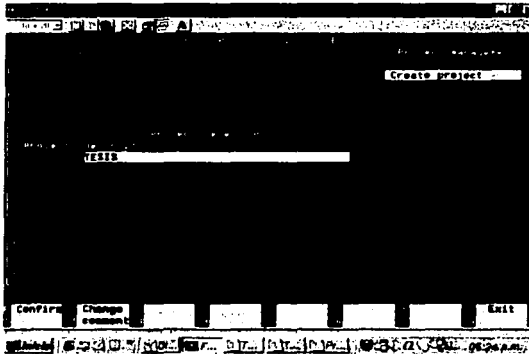


### 7.2.2 Presentación de Software

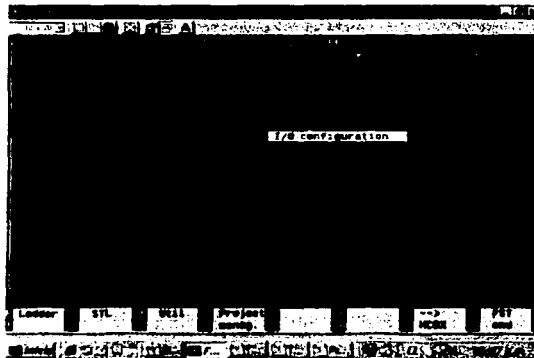


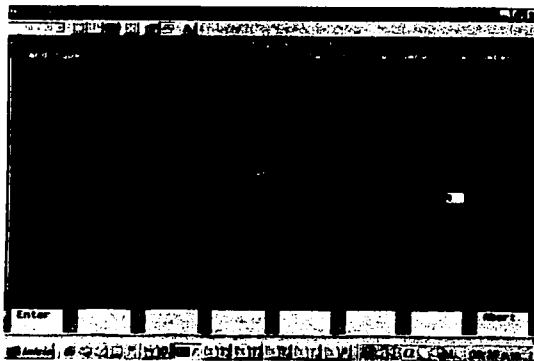
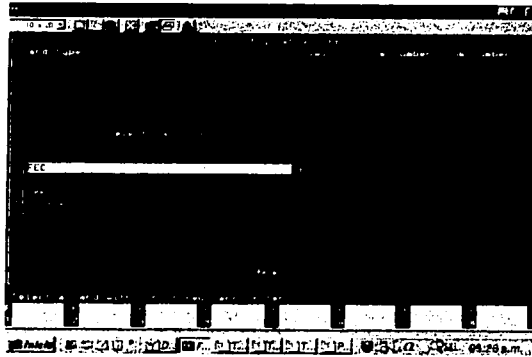
CAPITULO 7

7.2.3 Crear un proyecto - Create project .- Para programar un nuevo sistema de automatizar.



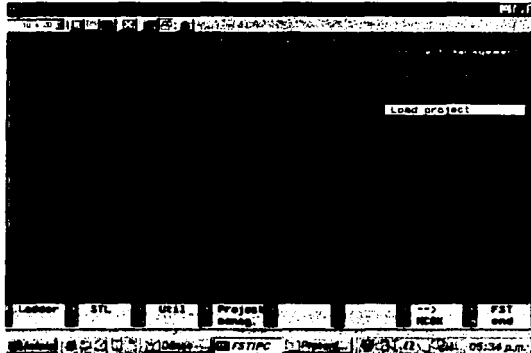
7.2.4 Configuración de entadas y salidas - I/O Configuration.



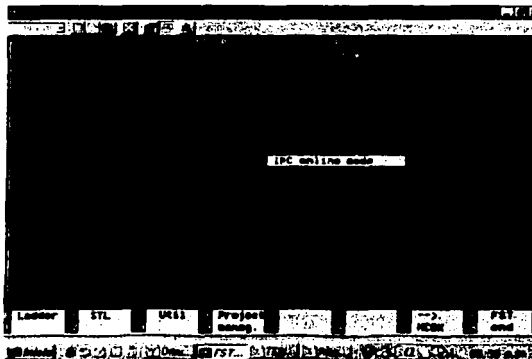


CAPÍTULO 7

7.2.5 Cargar un proyecto - Load project .- Escogiendo cuales de los programas se desean transferir al PLC.



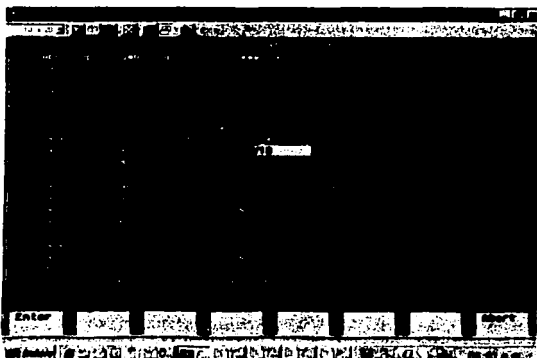
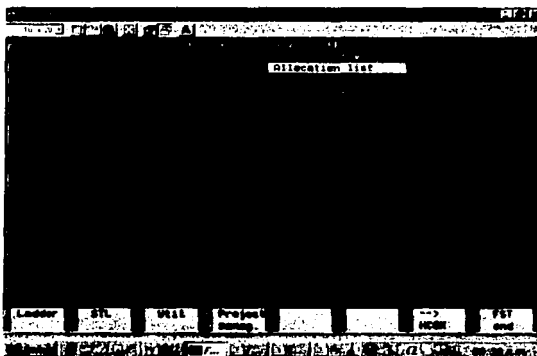
7.2.6 Modo en línea con el PLC - Online mode .- Para monitorear el desempeño y funcionamiento del PLC y sus parámetros.



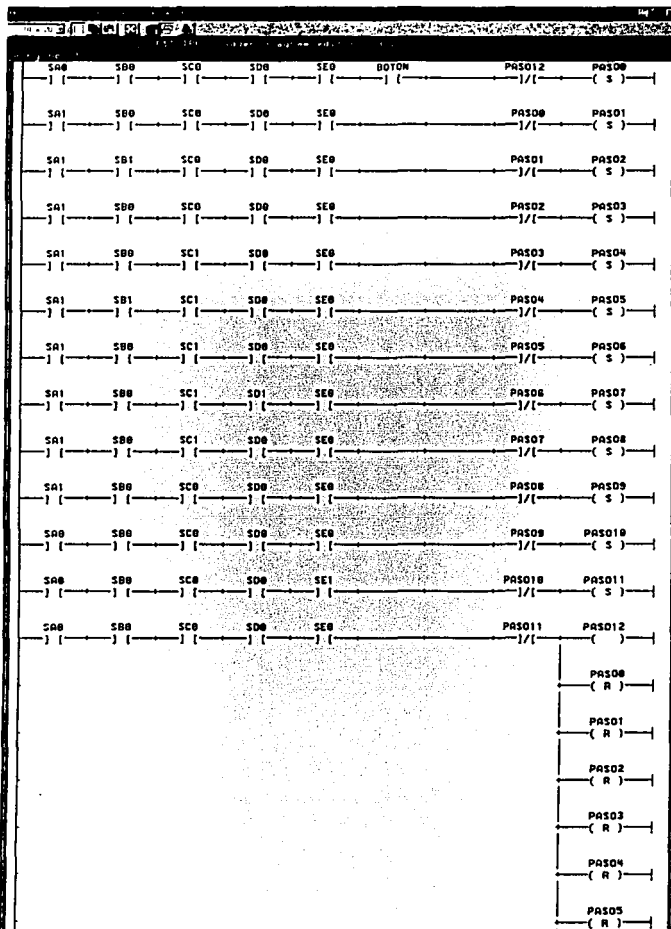


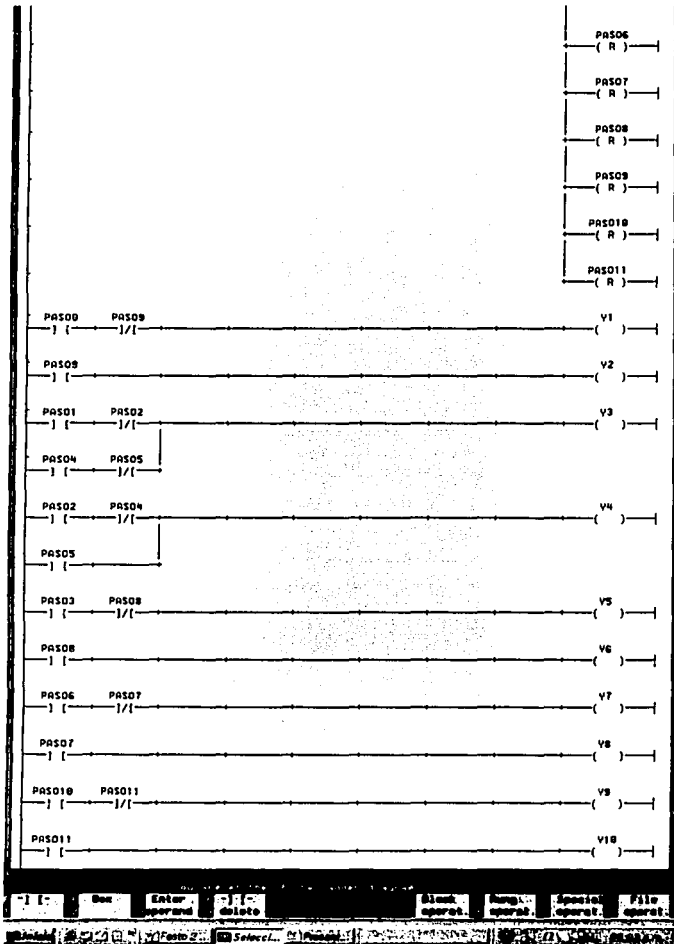
**CAPÍTULO 7**

**7.2.7 Lista de localidades - Allocation list** :- Tiene como propósito generar una tabla de las asignaciones de símbolos a parámetros como entradas, salidas, contadores, temporizadores, banderas y registros. Además de documentar con un comentario cada una.



7.2.8 Editor escalera - Ladder editor .- Editar los nuevos o modificar los ya existentes en un diagrama de escalera.





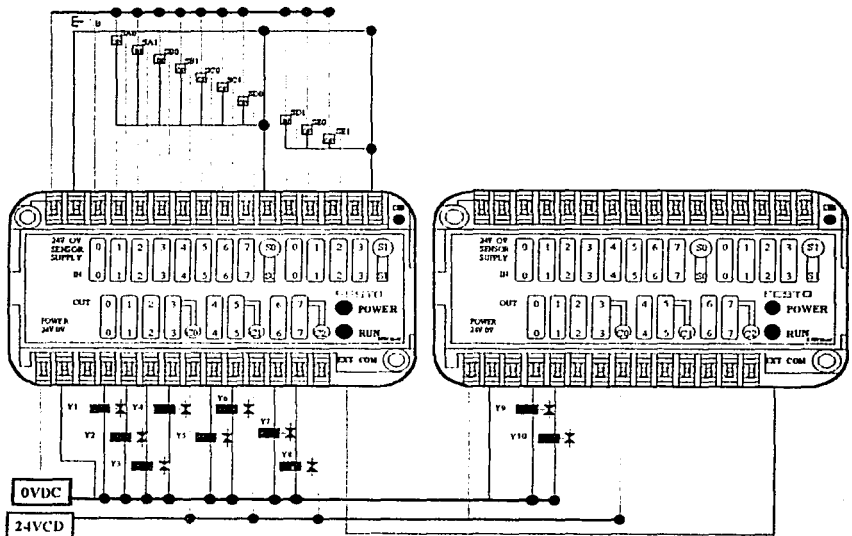
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CAPITULO 7

7.2.9 Cargar programa - Load program .- Compilar y transferir el programa de la PC al PLC, en lenguaje de diagrama en escalera.

7.2.10 Run, stop, run .- Correr programa desde el PLC.

7.3 CONEXIÓN DE ENTRADAS Y SALIDAS EN EL PLC.



# **CONCLUSIONES**

---

## **CAPITULO 8**

El objetivo planteado en esta Tesis se concluyó en su totalidad, dando una visión más amplia del desarrollo de la Automatización en la Industria, permitiendo ver las diversas aplicaciones que esta tiene dependiendo de los productos que se desean elaborar, de su manipulación, del uso de materiales nocivos ó peligrosos para la salud, del elevado volumen, de la precisión, de un mejor control de la calidad, de la cantidad que la empresa desee invertir, etc.

En el momento en que planteamos el proyecto para esta Tesis, fue necesario automatizarlo con los distintos tipos o formas que la empresa FESTO nos

proporcionó y que con anterioridad fueron expuestos en los capítulos 2, 3 y 4. El criterio para la selección de los métodos fue en base a la facilidad y flexibilidad que estos presentaron en su desarrollo, del número de elementos utilizados para su Automatización, también se plantearon las posibilidades de producción según el volumen, el tipo de inversión, de la necesidad del espacio y de lo práctico del sistema.

A continuación se elaboraron tres tablas donde se pueden observar las ventajas y desventajas, que los distintos tipos de automatización tienen para nuestro proyecto. En primera instancia se compararon los métodos de diseño en cada una de las ramas de automatización que se presentaron en este texto (exceptuando PLC's, ya que en este proceso se contó con un solo software impidiendo su comparación) obteniendo el más adecuado para cada uno de los casos. Posteriormente, se hizo una comparación entre los tres procesos de Automatización, dándonos los pros y los contras que presentarían en cada una.

*Proyecto Neumático*

<b>Métodos</b>	<b>Número de elementos</b>	<b>Facilidad y flexibilidad</b>	<b>Necesidad de espacio</b>	<b>Viabilidad</b>
<b>Básico</b>	27	Proceso difícil de armar ya que no existe un método de diseño, no es flexible y no es fácil de seguir	Poco	Poca, por dificultad de diseño ya que no existe un método
<b>Paso a Paso</b>	43	Fácil de armar y flexible para modificar	Grande	Muy viable.
<b>Cascada</b>	36	Fácil de armar y flexible para modificar	Regular	Poco viable por las caídas de presión
<b>Cadenas de Secuencia</b>	42	Difícil de armar, no es flexible para modificar, su proceso es muy sencillo de seguir	Muy grande	Poco viable por el tamaño y dificultad de conexión

**Proyecto Electroneumático**

<b>Método</b>	<b>Número de elementos</b>	<b>Facilidad y flexibilidad</b>	<b>Necesidad de espacio</b>	<b>Viabilidad</b>
<b>Básico</b>	El número de elementos es prácticamente el mismo en los 4 casos	Proceso difícil de armar por las sincronías, no existe un método de diseño y no es flexible	El espacio es prácticamente el mismo en los 4 casos	Nada viable
<b>Paso a paso</b>		Fácil de armar, flexible para modificar y proceso muy sencillo de seguir		Muy viable
<b>Bandera</b>		Difícil de armar por las sincronías, si es flexible, es un proceso difícil de seguir		No es viable por lo difícil de quitar las sincronías





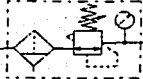

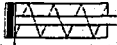

<b>Cascada</b>		Difícil de armar, no es muy flexible y es un proceso fácil de seguir		Poco viable porque no es flexible
----------------	--	---	--	---

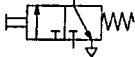
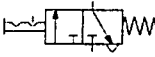
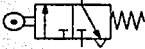

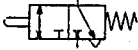

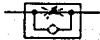


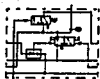
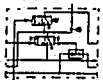
### *Comparación de Procesos*













<b>Proceso</b>	<b>Número de elementos</b>	<b>Facilidad y flexibilidad</b>	<b>Necesidad de espacio</b>	<b>Costo</b>	<b>Mantenimiento</b>
<b>Neumático</b>	43	Difícil	Mucha	<b>Reducido</b>	Alto
<b>Electroneumático</b>	25	Regular	Regular	Medio	<b>Bajo</b>
<b>PLC's</b>	25	<b>Fácil</b>	<b>Poca</b>	Alto	<b>Bajo</b>

# APÉNDICE

## SIMBOLOGÍA

	SUMINISTRO DE AIRE COMPRIMIDO		UNIDAD DE SERVICIO
	UNIDAD DE SERVICIO DE AIRE		CILINDRO DE DOBLE EFECTO
	CILINDRO DE SIMPLE EFECTO		DISTANCIA DE LA REGLA

	<p>VÁLVULA 3/2 POSICIONES NORMALMENTE CERRADA CON BOTÓN PULSADOR</p>		<p>VÁLVULA 3/2 POSICIONES NORMALMENTE CERRADA CON BOTÓN DE ENCLAVAMIENTO</p>
	<p>VÁLVULA 3/2 POSICIONES NORMALMENTE CERRADA CON RODILLO</p>		<p>VÁLVULA 3/2 POSICIONES NORMALMENTE CERRADA CON RODILLO ABATIBLE</p>
	<p>VÁLVULA 3/2 POSICIONES NORMALMENTE CERRADA</p>		<p>VÁLVULA 5/2 POSICIONES CON DOBLE PILOTAJE</p>
	<p>REGULADOR DE FLUJO UNIDIRECCIONAL</p>		<p>MODULO OR - SELECTOR DE CIRCUITO-</p>
	<p>MODULO AND - VÁLVULA DE SIMULTANEIDAD-</p>		<p>MODULO, TIPO TAB</p>
	<p>MODULO, TIPO TAA</p>	<p>•24V ○</p>	<p>CONEXIÓN ELÉCTRICA 24 V</p>

	<p>CONEXIÓN ELÉCTRICA 0 V</p>		<p>BOTON PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO</p>
	<p>BOTON PULSADOR NORMALMENTE ABIERTO CON ENCLAVAMIENTO</p>		<p>INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO</p>
	<p>INTERRUPTOR NORMALMENTE ABIERTO</p>		<p>INTERRUPTOR SELECTOR</p>
	<p>ELECTROVÁLVULA 5/2 POSICIONES IMPULSADA POR SELENIODE</p>		<p>RELEVADOR</p>
	<p>VÁLVULA SELENOIDE</p>		<p>INTERRUPTOR DE PROXIMIDAD ÓPTICO</p>
	<p>INTERRUPTOR DE PROXIMIDAD CAPASITIVO</p>		<p>INTERRUPTOR DE PROXIMIDAD INDUCTIVO</p>

**TABLA DE CONEXIONES LÓGICAS**

Nombre	Equación	Tabla verif.	Símbolo lógico	Realización electrónica	Real. electrónica	Real. electrónica																																
Memoria	$A \cdot B$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1																				
1	0	0	0																																			
1	0	1	0																																			
1	1	0	0																																			
1	1	1	1																																			
Memoria	$A + B$	<table border="1"> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1				
0	0	0	0																																			
0	0	1	1																																			
0	1	0	1																																			
0	1	1	1																																			
1	0	0	1																																			
1	0	1	1																																			
1	1	0	1																																			
1	1	1	1																																			
Compuerta	$A \cdot B + A \cdot C + B \cdot C$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	0	0	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1				
1	0	0	0																																			
1	0	1	1																																			
1	1	0	1																																			
1	1	1	1																																			
0	0	0	0																																			
0	0	1	0																																			
0	1	0	0																																			
0	1	1	1																																			
Demultiplex	$A \cdot B + A \cdot \bar{B}$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0				
1	1	0	0																																			
1	1	1	1																																			
1	0	0	1																																			
1	0	1	0																																			
0	0	0	0																																			
0	0	1	0																																			
0	1	0	0																																			
0	1	1	0																																			

Nombre	Equación	Tabla verif.	Símbolo lógico	Realización electrónica	Real. electrónica	Real. electrónica																																
AND de 3 o más entradas	$A \cdot B \cdot C$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0				
1	1	1	1																																			
1	1	0	0																																			
1	0	1	0																																			
1	0	0	0																																			
0	1	1	0																																			
0	1	0	0																																			
0	0	1	0																																			
0	0	0	0																																			
Equivalencia	$A \oplus B$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0				
1	1	0	0																																			
1	1	1	1																																			
1	0	0	1																																			
1	0	1	0																																			
0	1	0	1																																			
0	1	1	0																																			
0	0	0	0																																			
0	0	1	0																																			
NAND	$\overline{A \cdot B}$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1				
1	1	1	0																																			
1	1	0	1																																			
1	0	1	1																																			
1	0	0	1																																			
0	1	1	1																																			
0	1	0	0																																			
0	0	1	0																																			
0	0	0	1																																			
NOR	$\overline{A + B}$	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1				
1	1	0	0																																			
1	1	1	0																																			
1	0	0	0																																			
1	0	1	0																																			
0	1	0	0																																			
0	1	1	0																																			
0	0	0	1																																			
0	0	1	1																																			

# **BIBLIOGRAFÍA**

---

1. Mataix

*Mecánica de fluidos y maquinas hidráulicas*

Editorial Harla

2. Antonio Guillén Salvador

*Introducción a la neumática*

Editorial Productica

3. Antonio Guillén Salvador

*Aplicaciones industriales de la neumática*

Editorial Productica

4. Miguel Carula Vicent Lladonosa

*Prácticas de automatismo* Circuitos básicos de neumática

Editorial Alfa-Omega Marcombo

5. W. Deppert, K. Stoll

*Aplicaciones a la neumática*

Editorial Marcombo, traducido por departamento técnico de Festo

6. W. Deppert, K. Stoll

*Dispositivos neumáticos*

Editorial Marcombo

7. José Roldan Viloria

*Neumática, hidráulica y electricidad aplicada, física aplicada, otros fluidos*

Editorial Paraninfo

8. J. Pedro Romera, J. Antonio Lorite

*Automatización* Problemas resueltos con autómatas programables

Editorial Paraninfo

---

9. G. Michel

***Autómatas programables industriales*** Arquitectura y aplicaciones

Editorial Marcombo

10. Andre Simón

***Autómatas programables***

Editorial Paraninfo

11. Joseph Balcells, José Luis Romeral

***Autómatas programables***

Serie Mundo Electrónico, editorial Marcombo

12. Vicent Lladonosa, Ferran Ibañes

***Prácticas de automatismo*** Programación de autómatas industriales Omron

Editorial Alfa-Omega Marcombo

13. D. Waller, H. Werner

**Neumática** Nivel Básico (Manual de trabajo)

FESTO DIDACTIC



14. C Rouff, D. Waller, H. Werner

**Electroneumática Nivel Básico (Manual de trabajo)**

FESTO DIDACTIC

15. E. v. Terzi, H. Regber, C. Löffler, F. Ebel

**Controles Lógicos Programables Nivel Básico (Manual de trabajo)**

FESTO DIDACTIC