



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MEXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

**AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO ELECTRONEUMÁTICO PARA LA  
FABRICACIÓN DE UN ESQUINERO METÁLICO DE SOPORTE POR MEDIO  
DE PLC'S**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:  
ARTURO SOTO GÓMEZ**

**ASESOR: ING. NICOLÁS CALVA TAPIA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**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.

## **AGRADECIMIENTOS**

Se agradece al la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán y especialmente al ingeniero Nicolás Calva Tapia por el apoyo brindado para la realización de esta tesis.

## **DEDICATORIAS**

Primeramente a Dios, por darme la fuerza y voluntad para alcanzar mis metas y por darme la oportunidad de retomar el camino para poder concluir este trabajo.

A mis padres, que siempre han sido mi ejemplo a seguir y luchadores incansables.

A mis hermanos, por su comprensión, palabras de aliento y por mostrarme el camino con su ejemplo.

A Daniela, por su paciencia y apoyo cuando más lo necesitaba y por ser la razón para muchas cosas, pasadas, presentes y futuras.

A mis profesores, por su esfuerzo y paciencia. A mis compañeros, con ellos fue más fácil recorrer el camino. A mis amigos, por los momentos buenos y no tan buenos. Marco, Enrique, Karlo, Oswaldo, Juan Carlos, Mario, Lucia, Sac Nicté, Adrianna, Norma, Elizabeth.

A la bandera, goliat, chester, shack, cotton, marioneta bimbo, turbo, motorcito, nubeluz, santanera, satanico, cositas, mc cuac, luchadora, guarus (d.e.p.), la beba, fili, rana, tin tán, capi thermo, dictadora, chayito.

## Índice

I. Automatización

II. Controlador lógico programable

III. Neumática

IV. Proyecto

Conclusiones

Bibliografía

Apéndice A.- Información técnica

Apéndice B.- Equipo utilizado en el laboratorio

Apéndice C.- Simbología neumática

Apéndice D.- Diagramas logarítmicos

Palabras clave : PLC, automatización, neumática, electroneumática, controlador lógico programable, programación en escalera, diagrama de contactos, actuadores neumáticos, control con PLC, válvulas de vías, contactos eléctricos, sensor inductivo, diagrama espacio-fase, ecuación de movimientos, simulación de circuito virtual,

## INTRODUCCIÓN

La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas. La división del trabajo se desarrolló en la segunda mitad del siglo XVIII. En la fabricación, la división del trabajo permitió reducir el nivel de especialización de los obreros. La mecanización fue la segunda etapa necesaria para la evolución hacia la automatización. La simplificación del trabajo permitida por la división del trabajo también permitió el diseño y construcción de máquinas que reproducen los movimientos del trabajador. A medida que evolucionó la tecnología, estas máquinas especializadas se motorizaron aumentando así su eficacia productiva.

La máquina de transferencia es un dispositivo utilizado para mover la pieza que se está trabajando desde una máquina herramienta especializada hasta otra, colocándola de forma adecuada para la siguiente operación de maquinado. Los robots industriales diseñados en un principio para realizar tareas sencillas en entornos peligrosos para los trabajadores, son hoy extremadamente hábiles y se utilizan para trasladar, manipular y situar piezas ligeras y pesadas, realizando así todas las funciones de una máquina de transferencia. En realidad se trata de varias máquinas separadas que están integradas en lo que a simple vista podría considerarse una sola.

En la década de 1920 la industria del automóvil combinó estos conceptos en un sistema de producción integrado. El objetivo de este sistema de línea de montaje era abaratar los precios. A pesar de los avances más recientes, este es el sistema de producción con el que la mayoría de la gente asocia el término automatización.

En nuestros días, los constructores de equipos de control no ignoran ya nada en relación a los controladores lógicos programables (PLC) también llamados autómatas programables industriales (API). El punto de equilibrio a partir del cual su precio es comparable, o incluso inferior a los sistemas tradicionales de lógica cableada disminuye constantemente. En numerosos problemas es conveniente pues, determinar el modo de control más apropiado y con esta consideración la elección se torna cada vez más hacia los controladores lógicos programables. Por otro lado se trata, no solamente de una cuestión de precio, sino, también de una mejora en tiempo, flexibilidad incrementada con el manejo, alta fiabilidad, localización y eliminación rápida de fallos. Simultáneamente, la máquina o la instalación equipada con uno de tales autómatas alcanza un nivel tecnológico más elevado, mejorando así su competitividad en el mercado, el cual es cada vez más exigente.

El PLC es el componente que en un cuadro eléctrico nos permite elaborar y modificar las funciones que tradicionalmente se han realizado con relés, contactores, temporizadores, etc. Hay en el mercado autómatas que se adaptan a casi todas las necesidades, con entradas/salidas digitales y/o analógicas, pequeños y grandes. La programación suele ser sencilla, dependiendo básicamente de lo que se pretenda conseguir. A pesar de poder utilizar en cada uno de los distintos lenguajes de programación la misma simbología (esquema de contactos), no es fácil, aprendiendo uno de ellos, saber manejar el de cualquier otro fabricante ya que es aquí donde radica el gran inconveniente, cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación. Lo importante es conocer las posibilidades de un autómata y saber como llevarlas a la práctica con cualquiera de los autómatas que existen en el mercado.

La neumática es un tipo de energía que ofrece ventajas importantes comparada con la energía eléctrica, esto se observa considerando algunos tipos de aplicaciones específicas, por ejemplo en la industria petrolera donde no se pueden usar herramientas o máquinas eléctricas en los pozos de perforación para manipular directamente el petróleo, ya que este es un compuesto de hidrocarburos, básicamente una combinación de carbono e hidrógeno el cual es un gas altamente explosivo. Con la neumática el aire comprimido es quién suministra la fuerza a las herramientas llamadas neumáticas, como perforadoras, martillos, remachadoras o taladros de roca. El aire comprimido también se emplea en las minas de carbón para evitar que se produzcan explosiones por chispas eléctricas que hacen detonar las bolsas de gas.

En general la neumática ofrece la posibilidad de almacenamiento de energía, se mantiene estable a variaciones de temperatura, es fácil de transportar a grandes distancias y no tiene riesgos en relación a la propagación de fuegos o explosión. Es un medio de trabajo rápido el cual permite obtener movimientos de alta velocidad en actuadores, los cuales al ser herramientas de trabajo, pueden funcionar hasta quedar totalmente bloqueados sin sufrir daño alguno.

El aire comprimido se obtiene mediante el uso de un compresor de aire, el cual es una máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos. El aire comprimido posee una gran energía potencial, ya que si eliminamos la presión exterior se expandirá rápidamente.

Actualmente los controles lógicos programables (PLS's) forman parte de cualquier proceso de automatización de ahí la importancia de su estudio para la aplicación en este proyecto. Un PLC es un sistema mínimo digitalizado capaz de realizar procesamiento de señales en base a un programa establecido por el usuario que contiene puertos de entradas, salidas y transmisión serial de datos debidamente interfazados para su conectividad.

El PLC ofrece muchas ventajas en comparación con el control por relevadores entre las cuales están el menor costo, mejor monitoreo, menor mantenimiento y principalmente mayor flexibilidad para realizar modificaciones y ampliaciones a los sistemas de control.

Algunos de los criterios bajo los cuales se selecciona un PLC para un determinado proceso son la cantidad y tipo de entradas y salidas, la cantidad de operaciones internas que maneje (temporizadores, banderas, registros etc.), los lenguajes de programación que pueda utilizar, el respaldo con refacciones asesoría y servicio entre otras.

El presente proyecto consistirá en el diseño de un circuito electro neumático para la fabricación de una pieza metálica y del uso del controlador lógico programable FEC-20 de FESTO para su control, dado que la neumática es una tecnología cuyo equipo es de un costo muy elevado, el circuito electro neumático de control se implementara como un circuito simulado en el software FLUID-SIM de FESTO. Para esto es necesaria la construcción de la interfase de comunicación entre el puerto de la computadora y el puerto del PLC. Esta se realizara de acuerdo al código de conexión del FEC-20 y se usara un cable de ampliación telefónico con conectores RJ-11.

# **CAPÍTULO 1**

# **AUTOMATIZACIÓN**

## 1.1 INTRODUCCIÓN

La fabricación automatizada surgió de la íntima relación entre fuerzas económicas e innovaciones técnicas como la división del trabajo, la transferencia de energía y la mecanización de las fábricas. La división del trabajo se desarrolló en la segunda mitad del siglo XVIII. En la fabricación, la división del trabajo permitió reducir el nivel de especialización de los obreros. La mecanización fue la segunda etapa necesaria para la evolución hacia la automatización. La simplificación del trabajo permitida por la división del trabajo también posibilitó el diseño y construcción de máquinas que reproducen los movimientos del trabajador. A medida que evolucionó la tecnología, estas máquinas especializadas se motorizaron aumentando así su eficacia productiva.

La máquina de transferencia es un dispositivo utilizado para mover la pieza que se está trabajando desde una máquina herramienta especializada hasta otra, colocándola de forma adecuada para la siguiente operación de maquinado. Los robots industriales diseñados en un principio para realizar tareas sencillas en entornos peligrosos para los trabajadores, son hoy extremadamente hábiles y se utilizan para trasladar, manipular y situar piezas ligeras y pesadas, realizando así todas las funciones de una máquina de transferencia. En realidad se trata de varias máquinas separadas que están integradas en lo que a simple vista podría considerarse una sola.

En la década de 1920 la industria del automóvil combinó estos conceptos en un sistema de producción integrado. El objetivo de este sistema de línea de montaje era abaratar los precios. A pesar de los avances más recientes, este es el sistema de producción con el que la mayoría de la gente asocia el término automatización.

## 1.2 QUE ES LA AUTOMATIZACIÓN

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos y para controlar la secuencia de las operaciones sin intervención humana. El término automatización también se ha utilizado para describir sistemas no destinados a la fabricación en los que dispositivos programados o automáticos pueden funcionar de forma independiente o semi-independiente del control humano. En comunicaciones, aviación y astronáutica, dispositivos como los equipos automáticos de conmutación telefónica, los pilotos automáticos y los sistemas automatizados de guía y control se utilizan para efectuar diversas tareas con más rapidez o mejor de lo que podría hacerlo un ser humano.

Un elemento esencial de todos los mecanismos de control automático es el principio de realimentación que permite al diseñador dotar a una máquina de capacidad de auto corrección. Un ciclo o bucle de realimentación es un dispositivo mecánico, neumático o electrónico que detecta una magnitud física como una temperatura, un tamaño o una velocidad, la compara con una norma pre-establecida, y realiza aquella acción preprogramada necesaria para mantener la cantidad medida dentro de los límites de la norma aceptable. El principio de realimentación se utiliza desde hace varios siglos. El conocido termostato doméstico es un ejemplo de realimentación.

La computadora ha facilitado enormemente el uso de ciclos de realimentación en los procesos de fabricación. En combinación, las computadoras y los ciclos de realimentación han permitido el desarrollo de máquinas controladas numéricamente.

La aparición de las combinaciones de microprocesadores y computadoras ha posibilitado el desarrollo de la tecnología de diseño y fabricación asistidos por computadoras. Empleando estos sistemas, el diseñador traza el plano de una pieza e indica sus dimensiones con la ayuda de un ratón o mouse, un lápiz óptico u otro dispositivo de introducción de datos. Una vez que el boceto ha sido terminado, la computadora genera automáticamente las instrucciones que dirigirán en centro de maquinado para elaborar esa pieza.

Muchas industrias están muy automatizadas o bien utilizan tecnología de automatización en alguna de sus actividades.

No todas las industrias requieren el mismo grado de automatización, la agricultura, las ventas y algunos sectores de servicios son difíciles de automatizar.

El concepto de automatización está evolucionando rápidamente, en parte debido a que las técnicas avanzan tanto dentro de una instalación o sector como entre las industrias. En una refinería se puede observar el método denominado flujo continuo de producción donde el petróleo crudo entra por un punto y fluye por los conductos a través de dispositivos de destilación y reacción, a medida que va siendo procesado para obtener productos como la gasolina y el diesel. Un conjunto de dispositivos controlados automáticamente, dirigidos por microprocesadores y controlador por una computadora central, controla las válvulas, calderas y demás equipos, regulando así el flujo y las velocidades de reacción.

La propagación de la automatización y su influencia sobre la vida cotidiana constituye la base de la preocupación expresada por muchos acerca de las consecuencias de la automatización sobre la sociedad y el individuo.

No todo acerca de la automatización ha sido positivo. Hay quienes argumentan que la automatización ha llevado al exceso de producción y al derroche, que ha provocado la alineación del trabajador y que ha generado desempleo. Algunos economistas defienden que la automatización ha tenido un efecto mínimo, o ninguno, sobre el desempleo. Sostienen que los trabajadores son desplazados, y no cesados, y que por lo general son contratados para otras tareas dentro de la misma empresa, o bien en el mismo trabajo en otra empresa que todavía no ha sido automatizada.

Algunos dicen que la automatización genera más puestos de los que elimina. Señalan que aunque algunos trabajadores pueden quedar en el paro, la industria que produce la maquinaria automatizada genera más trabajos que los eliminados. Por ejemplo en la industria informática los ejecutivos de las empresas coinciden en que aunque las computadoras han sustituido a muchos trabajadores, el propio sector ha generado más empleos en fabricación, venta y mantenimiento de ordenadores. Por el otro lado, hay líderes sindicales y economistas que afirman que si no se controla, la automatización llevará a la creación de un vasto ejército de desempleados. Sostienen que el crecimiento de los puestos de trabajo generados por la administración pública y en los sectores de servicio han absorbido a quienes han quedado desempleados como consecuencia de la automatización, y que en cuanto dichos sectores se saturen o se reduzcan los programas gubernamentales se conocerá la auténtica relación entre la automatización y el desempleo.

### 1.3 OBJETIVOS DE LA AUTOMATIZACIÓN

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costes de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.

### 1.4 ESTRUCTURA DE LA AUTOMATIZACIÓN

Un sistema automatizado consta de dos partes principales la parte operativa y la parte de mando.

#### a) Parte operativa

Es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los captadores como fotodiodos, finales de carrera etc.

- Detectores y captadores

Como las personas necesitan de los sentidos para percibir, lo que ocurre en su entorno, los sistemas automatizados precisan de los transductores para adquirir información de:

- La variación de ciertas magnitudes físicas del sistema.
- El estado físico de sus componentes

Los dispositivos encargados de convertir las magnitudes físicas en magnitudes eléctricas se denominan transductores. Los transductores se pueden clasificar en función del tipo de señal que transmiten en:

- Transductores “todo o nada”: Suministran una señal binaria y son claramente diferenciados.

Los finales de carrera son transductores de este tipo.

- Transductores numéricos: Transmiten valores numéricos en forma de combinaciones binarias. Los encoders son transductores de este tipo.
- Transductores analógicos: Suministran una señal continua que es fiel reflejo de la variación de la magnitud física medida.

Algunos de los transductores más utilizados son: Final de carrera, pulsadores, encoders, etc.

- Accionadores y preaccionadores

El accionador es el elemento final de control que, en respuesta a la señal de mando que recibe, actúa sobre la variable o elemento final del proceso.

Un accionador transforma la energía de salida del automatismo en otra útil para el entorno industrial de trabajo.

Los accionadores pueden ser clasificados en eléctricos, neumáticos e hidráulicos.

Los accionadores más utilizados en la industria son: Cilindros, motores de corriente alterna, motores de corriente continua, etc.

Los accionadores son gobernados por la parte de mando, sin embargo, pueden estar bajo el control directo de la misma o bien requerir algún preaccionamiento para amplificar la señal de mando. Esta preamplificación se traduce en establecer o interrumpir la circulación de energía desde la fuente al accionador.

Los preaccionadores disponen de:

Parte de mando o de control que se encarga de conmutar la conexión eléctrica, hidráulica o neumática entre los cables o conductores del circuito de potencia.

b) Parte de mando

La parte de mando suele ser un autómatas programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada) En un sistema de fabricación automatizado el autómatas programable esta en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

## TECNOLOGÍAS CABLEADAS

Con este tipo de tecnología, el automatismo se realiza interconectando los distintos elementos que lo integran. Su funcionamiento es establecido por los elementos que lo componen y por la forma de conectarlos. Esta fue la primera solución que se utilizó para crear autómatas industriales, pero presenta varios inconvenientes. Los dispositivos que se utilizan en las tecnologías cableadas para la realización del automatismo son:

- Relés electromagnéticos.
- Módulos lógicos neumáticos.
- Tarjetas electrónicas.

## TECNOLOGÍAS PROGRAMADAS

Los avances en el campo de los microprocesadores de los últimos años han favorecido la generalización de las tecnologías programadas. En la realización de automatismos.

Los equipos realizados para este fin son:

- Las computadoras.
- Los autómatas programables.

La computadora, como parte de mando de un automatismo presenta la ventaja de ser altamente flexible a modificaciones de proceso. Pero, al mismo tiempo, y debido a su diseño no específico para su entorno industrial, resulta un elemento frágil para trabajar en entornos de líneas de producción. Un autómata programable industrial es un elemento robusto diseñado especialmente para trabajar en ambientes de talleres, con casi todos los elementos de una computadora.

# **CAPÍTULO 2**

## **CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE**

## 2.1 INTRODUCCIÓN

En nuestros días, los constructores de equipos de control no ignoran ya nada en relación a los controladores lógicos programables (PLC) también llamados autómatas programables industriales (API). El punto de equilibrio a partir del cual su precio es comparable, o incluso inferior a los sistemas tradicionales de lógica cableada disminuye constantemente. En numerosos problemas es conveniente pues, determinar el modo de control más apropiado y con esta consideración la elección se torna cada vez más hacia los controladores lógicos programables. Por otro lado se trata, no solamente de una cuestión de precio, sino, también de una mejora en tiempo, flexibilidad incrementada con el manejo, alta fiabilidad, localización y eliminación rápida de fallos. Simultáneamente, la máquina o la instalación equipada con uno de tales autómatas alcanza un nivel tecnológico más elevado, mejorando así su competitividad en el mercado, el cual es cada vez más exigente.

El PLC es el componente que en un cuadro eléctrico nos permite elaborar y modificar las funciones que tradicionalmente se han realizado con relés, contactores, temporizadores, etc. Hay en el mercado autómatas que se adaptan a casi todas las necesidades, con entradas/salidas digitales y/o analógicas, pequeños y grandes. La programación suele ser sencilla, dependiendo básicamente de lo que se pretenda conseguir. A pesar de poder utilizar en cada uno de los distintos lenguajes de programación la misma simbología (esquema de contactos), no es fácil, aprendiendo uno de ellos, saber manejar el de cualquier otro fabricante ya que es aquí donde radica el gran inconveniente, cada fabricante tiene su propio lenguaje de programación. Lo importante es conocer las posibilidades de un autómata y saber como llevarlas a la práctica con cualquiera de los autómatas que existen en el mercado.

## 2.2 ORIGEN DEL PLC

Los autómatas programables aparecieron en los Estados Unidos de América en los años 1969 – 1970, y más particularmente en el sector de la industria del automóvil; fueron empleados en Europa alrededor de dos años más tarde. Su fecha de creación coincide, pues con el comienzo de la era del microprocesador y con la generación de la lógica cableada modular.

La creciente difusión de aplicaciones de la electrónica, la fantástica disminución del precio de los componentes, el nacimiento y el desarrollo de los microprocesadores y, sobretodo, la miniaturización de los circuitos de memoria permiten presagiar una introducción de los autómatas programables, cuyo precio es atractivo incluso para equipos de prestaciones modestas, en una inmensa gama de nuevos campos de aplicación.

El autómata programable satisface las exigencias tanto de procesos continuos como discontinuos. Regula presiones, temperaturas, niveles y caudales así como todas las funciones asociadas de temporización, cadencia, conteo y lógica. También incluye una tarjeta de comunicación adicional, el autómata se transforma en un poderoso satélite dentro de una red de control.

El autómata programable es un aparato electrónico programable por un usuario programador y destinado a controlar, dentro de un entorno industrial, máquinas o procesos lógicos secuenciales.

## 2.3 EL PLC EN LA AUTOMATIZACIÓN

El Control Lógico Programable representa un factor clave en la automatización industrial. Su utilización permite una adaptación flexible a los procesos cambiantes, así como una rápida localización de averías o eliminación de errores.

El primer control lógico programable fue desarrollado por un grupo de ingenieros de General Motors 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 en el programa sin intervención en el sistema (sin tener que rehacer el circuito interno)
- Más pequeño, más económico y más fiable que los correspondientes sistemas de control por relés
- Sencillo y bajo costo de mantenimiento

Los sucesivos desarrollos llevaron a un sistema que permitía la conexión sencilla de señales binarias. Los requerimientos de cómo estaban conectadas todas 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 cuatro décadas, durante las cuales los enormes progresos hechos en el desarrollo de la microelectrónica 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 PLCs.

Todas las máquinas o sistemas automáticos tienen un control. Dependiendo del tipo de tecnología utilizada, 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 o componentes electrónicos y controles lógicos programables. Los primeros se utilizan principalmente en casos en los que la programación por el usuario está fuera de toda duda y el alcance de la tarea justifica el desarrollo de un sistema de control especial. Sin embargo, si la tarea de control no justifica el desarrollo de un control especial, o si el usuario debe tener la posibilidad de hacer cambios sencillos, o de modificar tiempos o valores de contadores, entonces el uso de un control universal, en el que el programa se escribe en una memoria electrónica, es la opción preferida. El PLC representa un control universal. Puede utilizarse para diferentes aplicaciones y, dado que el programa se halla escrito en su memoria electrónica, el usuario puede modificar, ampliar y optimizar con cierta sencillez sus procesos de control.

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 y 1. Consecuentemente, una salida sólo asume estos dos estados.

En un PLC el comportamiento de las entradas/salidas es similar al de los controles realizados con relés electromagnéticos o con elementos lógicos neumáticos o electrónicos; la diferencia reside en que en el programa en lugar de estar “cableado” está almacenado en una memoria electrónica.

Sin embargo las tareas del PLC se ampliaron rápidamente: las funciones de temporización y recuento, las operaciones de cálculo matemático, conversión de señales analógicas, etc, representan funciones que pueden ejecutarse en casi todos los PLC's actuales.

Las demandas que se requieren de los PLC's siguen creciendo al mismo ritmo que su amplia utilización y desarrollo en la tecnología de automatización. Por ejemplo: la visualización, es decir, la representación del programa por medio de una pantalla o monitor. También el control directo, es decir, la facilidad de intervenir en los procesos de control o, alternativamente, impedir tal intervención a las personas no autorizadas. También se ha visto la necesidad de interconectar y armonizar sistemas individuales controlados por PLC, por medio de redes o buses de campo.

La conexión en red de varios PLCs, así como la de un PLC con el ordenador master se realiza por medio de interfaces de comunicación especiales. Para ello, la mayoría de los más

recientes PLCs son compatibles con sistemas de bus abiertos estandarizado. Gracias al enorme aumento de la potencia y capacidad de los PLC's avanzados, estos pueden incluso asumir directamente la función de un ordenador master.

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, etc )

Los PLC's que existen actualmente en 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 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.

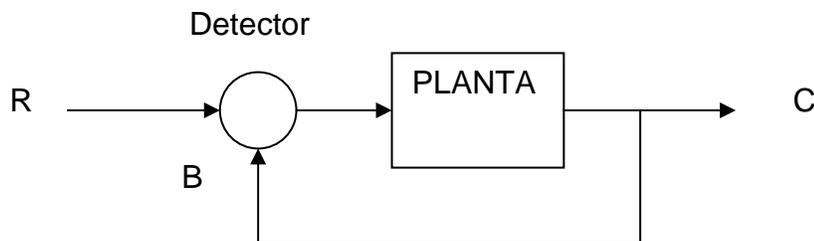
El término control lógico programable se define como "Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario, para la realización de funciones específicas 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.

## 2.4 SISTEMA DE CONTROL

Un sistema de control puede definirse como un conjunto de componentes (dispositivos y señales) que interconectados entre si realizan una función determinada. Su objetivo es gobernar una variable a la salida de un determinado proceso de acuerdo a una señal de entrada que le indica a los elementos del sistema de que manera deben actuar.

El sistema de control que se utiliza en este proceso es del tipo de lazo cerrado o malla cerrada el cual es una división de los sistemas de control y se utiliza para aumentar la precisión y evitar que las perturbaciones externas influyan en el sistema. Esto se logra con una retroalimentación (feedback) de la salida hacia un sumador donde se compara con la entrada para obtener una señal de error la cual controla al sistema para obtener la salida deseada, como se indica en la figura 2.1.



Donde:

R - Entrada

C - Salida

B - Señal de retroalimentación

Figura 2.1. Sistema de control de lazo cerrado

El componente más importante de un sistema de control es el PLC y su programa de control, en la figura 2.2 se muestra los componentes de un sistema de control con PLC.

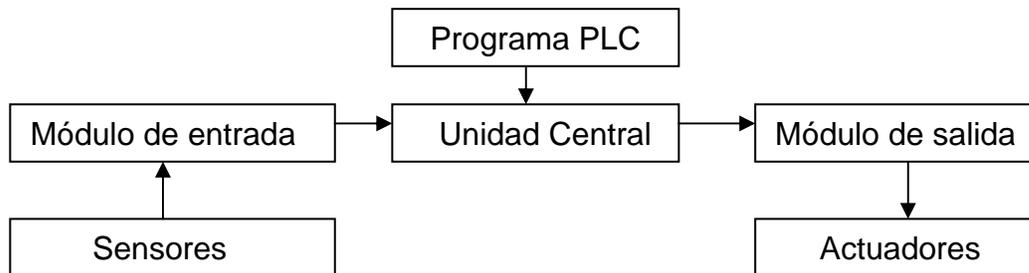


Figura 2.2. Componentes de un sistema de control con PLC

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.

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

El programa de un PLC puede crearse en varias formas a través de instrucciones o en "lista de instrucciones", en lenguajes de alto nivel orientados a problemas, tales como el texto estructurado, o en forma de diagramas de flujo como se representa en el diagrama de funciones secuencial. El diagrama preferido por los usuarios es el "diagrama de contactos" o "diagrama de 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 salidas en un solo cuerpo) o PLC's modulares. Los PLC's modulares pueden configurarse individualmente. Los módulos requeridos por la aplicación práctica aparte de los módulos de entradas/salidas digitales que pueden, por ejemplo, incluir módulos analógicos, de posicionamiento y comunicación se insertan en un rack, en el que todos los módulos están enlazados por el sistema de bus. Este diseño se conoce también como tecnología modular.

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.

## **2.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE CONTROL CON PLC**

Actualmente los controladores lógicos programables forman parte de cualquier proceso de automatización. La configuración típica de una solución con automatización consta de las siguientes partes elementales: PC o aparato programador, Controlador Lógico Programable, Sensores y Actuadores.

### **a) PC O APARATO PROGRAMADOR**

Se utiliza para crear el programa que contiene la lógica del sistema o maquinaria a controlar y transferirla a la memoria del PLC. Al mismo tiempo estas herramientas de programación también proporcionan funciones de apoyo para la verificación del programa de PLC y la puesta a punto de control.

### b) CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE

Bajo este nombre se incluyen los módulos electrónicos a través de los cuales todas las funciones de la máquina o sistema a controlar son direccionadas y activadas en una secuencia lógica.

### c) SENSORES

Estos componentes están situados directamente en el sistema o la máquina a controlar y a través de ellos el PLC interroga el estado o posición de la máquina.

### d) ACTUADORES

Estos componentes están situados directamente en el sistema o máquina a controlar y a través de ellos, el PLC es capaz de cambiar o influir en estados y con ello en el proceso técnico.

## 2.6 PROGRAMA DE PLC

Un programa de PLC consiste en una secuencia lógica de instrucciones. El programa de control es almacenado en una memoria especial, leíble electrónicamente, denominada “memoria del programa” del PLC. Durante el desarrollo del programa se utilizan memorias RAM con baterías de respaldo ya que su contenido puede cambiarse muy rápidamente.

Una vez probado y depurado el programa del control, suele transferirse a una memoria de solo lectura, es decir una EPROM. En cualquier caso, cuando se ejecuta el programa se procesa en ciclos continuos.

## Creación de un programa de PLC

Los pasos para crear un programa de PLC se muestran en la figura 2.3.

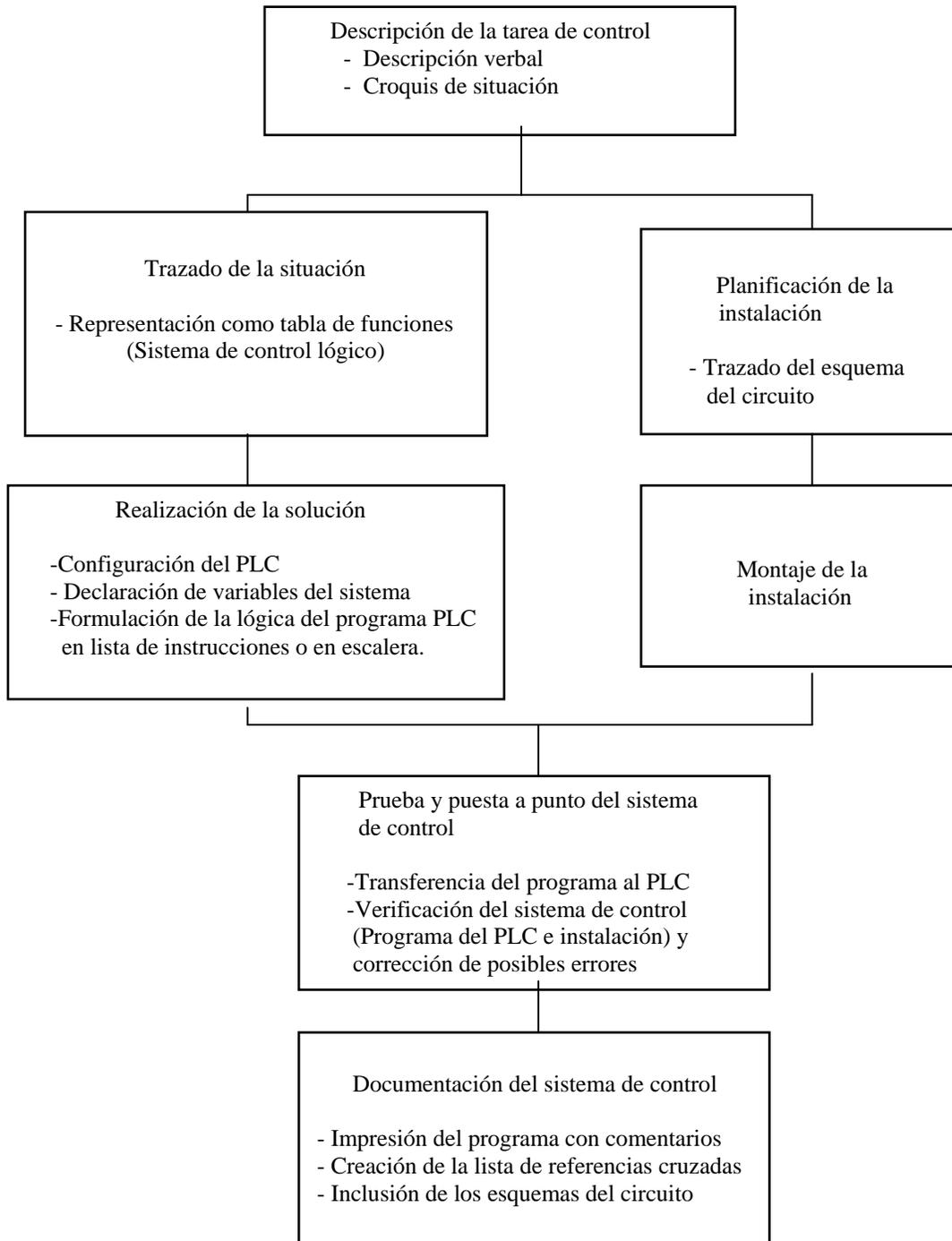


Figura 2.3. Pasos prácticos para la creación de un programa de PLC

## **2.7 SEÑALES DE UN PLC**

Las señales de entrada llegan al PLC a través de los sensores. Estas señales contienen información sobre el estado del sistema a controlar. Es posible introducir señales binarias digitales y analógicas.

Un PLC solamente puede reconocer y emitir señales eléctricas. Por esta razón, las señales no-eléctricas deben convertirse en señales eléctricas por medio de convertidores.

Tal es el caso de sensores como:

Pulsadores, interruptores, finales de carrera, sensores de proximidad. Las señales de salida influyen en el sistema a controlar. Las señales de salida se amplifican en señales de conmutación a través de los actuadores o se convierten en señales para otras formas de energía.

Algunos actuadores como:

Pilotos, zumbadores, timbres, contactores, cilindros con electroválvulas, motores de paso a paso, etc.

## 2.8 DISEÑO Y MODO DE FUNCIONAMIENTO DE UN PLC

En las computadoras 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, es decir, los circuitos impresos, los circuitos integrados, el cableado, la batería, el chasis etc.

El firmware lo constituyen aquellos programas (software) que se hallan permanentemente instalados en el hardware de la computadora 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, el software, que es el programa escrito por el usuario del PLC. Los programas del usuario se instalan generalmente en la memoria RAM, una memoria de acceso aleatorio, en donde pueden ser fácilmente modificados.

El hardware como es el caso de casi todos los sistemas microordenadores actuales está basado en un sistema de bus. Un sistema de bus es un determinado número de líneas eléctricas divididas en líneas de direcciones, de datos y de control. La línea de direcciones se utiliza para seleccionar la dirección de un elemento conectado al bus y la línea de datos para

transmitir la información requerida. Las líneas de control son necesarias para habilitar el dispositivo conectado al bus como emisor o como receptor.

Los principales elementos conectados al sistema de bus son el microprocesador y la memoria. La memoria puede dividirse en memoria para el firmware y memoria para el programa y los datos del usuario.

Según la estructura del PLC, los módulos de entradas y salidas se conectan a un simple bus común o con la ayuda de una interfase de bus a un bus externo de entradas/salidas. Especialmente en el caso de grandes sistemas modulares de PLC, es más usual un bus externo de entradas/salidas.

Finalmente, se necesita una conexión para el aparato programador o un PC, actualmente y en la mayoría de los casos en forma de una interfase serie.

En esencia, la unidad central de un PLC consiste en un microordenador. El sistema operativo del fabricante del PLC hace que el ordenador que hay en el PLC este optimizado específicamente para tareas de tecnología de control.

#### A) DISEÑO DE LA UNIDAD CENTRAL DE UN PLC

Un microprocesador consiste principalmente en una unidad aritmética y lógica, una unidad de control y un pequeña número de unidades de memoria internas, denominadas registros.

La tarea de la unidad aritmética y lógica la ALU (arithmetic logic unit) es ejecutar las operaciones lógicas y aritméticas con los datos transmitidos.

El acumulador es un registro especial asignado directamente a la unidad ALU. Este almacena tanto los datos a procesar como los resultados de una operación.

El registro de instrucciones almacena cada orden o instrucción llamada desde la memoria del programa hasta que es decodificada y ejecutada.

Una orden o instrucción (command) tiene una parte de ejecución y una parte de dirección. La parte de ejecución indica qué operación debe realizarse. La parte de dirección define la dirección de los operandos (señales de entrada, banderas, registros etc.) con los que hay que realizar la operación indicada.

El contador del programa es un registro, que contiene la dirección de la siguiente orden a procesar.

La unidad de control regula y controla toda la secuencia de operaciones requeridas para la ejecución de una orden.

El corazón de una microcomputadora es el microprocesador el cual aparece representado esquemáticamente en la figura 2.4.

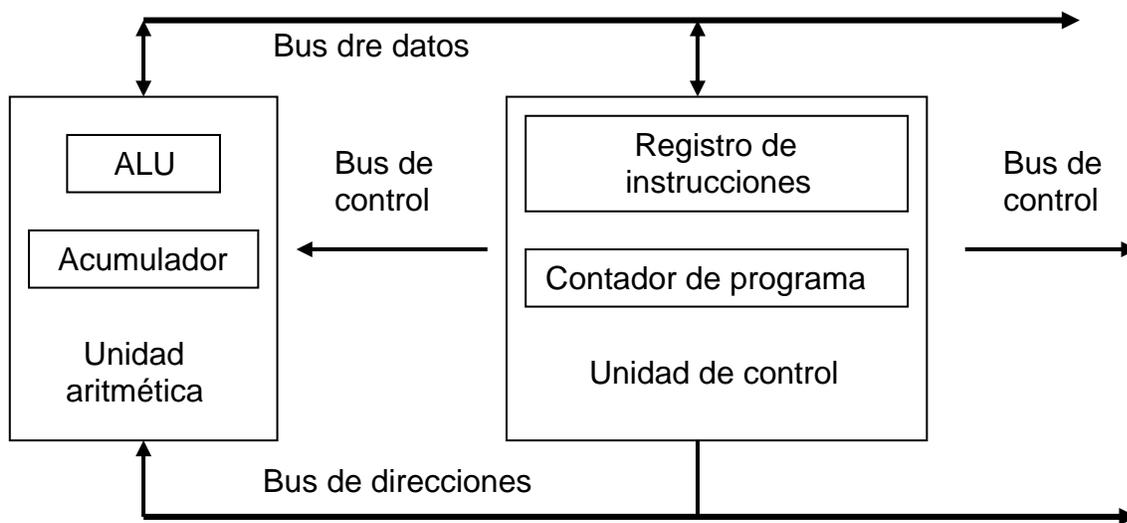


Figura 2.4. Representación esquemática del microprocesador

## B) CICLO DE INSTRUCCIONES DE LA UNIDAD CENTRAL

Los sistemas microordenadores convencionales de hoy en día funcionan procesando el programa línea a línea. En términos sencillos podríamos decir que cada línea del programa de usuario del PLC es procesada secuencialmente.

Esto es válido independientemente del lenguaje de programación en el que haya sido escrito el programa de PLC, sea en forma textual (lista de instrucciones) o en forma gráfica (diagrama de contactos). Dado que estas diversas formas de representación siempre resultan en una serie de líneas de programa dentro del ordenador, se procesan consecuentemente una tras otra.

En principio, una línea de programa, es decir, generalmente una orden se procesa en dos etapas:

- Toma de orden desde la memoria de programa
- Ejecución de la orden

El contenido del contador de programa es transferido al bus de direcciones. A continuación, la unidad de control hace que la instrucción en la dirección especificada de la memoria del programa, sea depositada en el bus de datos. Desde aquí, se lee en el registro de instrucciones. Una vez que ha sido codificada, la unidad de control genera una secuencia de señales de control para su ejecución.

Durante la ejecución de un programa, las instrucciones se van a buscar secuencialmente. Para ello se necesita un mecanismo que permita esta secuencia. Esta tarea se realiza por un simple incrementador, es decir, un elemento de habilitación de pasos en el contador de programa.

### C) 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 es procesado continuo y cíclicamente.

Las características del procesamiento cíclico son:

- Una vez que el programa ha sido ejecutado, 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 de cada 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 en 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 las 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.

## D) TIPOS DE MEMORIA UTILIZADAS EN PLCS

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:

- Debe ser fácil modificar o crear y almacenar nuevos programas con la ayuda de un dispositivo programador o una 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 del programa debe 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

### a) MEMORIA RAM

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

Las RAMs son memorias de lectura/escritura y pueden programarse y modificarse fácilmente.

La desventaja de una RAM es que es volátil, es decir, el programa almacenado en la RAM se pierde en el caso de un fallo de tensión. Esta es la razón por la cual las RAMs deben estar respaldadas por una batería, acumulador o pila. Dado que la vida útil y la capacidad de las modernas pilas les permiten durar varios años, el respaldo de una RAM por pila es relativamente simple. A pesar de que se utilizan pilas o baterías de altas prestaciones, es esencial sustituirlas en las fechas indicadas por el fabricante del PLC.

### b) MEMORIAS EPROM

La EPROM (erasable programmable read-only memory / memoria de solo lectura, programable y borrable) también es una memoria rápida y de bajo costo 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 pertenece inalterable incluso ante un fallo de tensión.

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 EPROMs)

A pesar de su relativamente complejo proceso de borrado-enfriado-reprogramación, las EPROMs se utilizan con bastante frecuencia en los PLCs ya que poseen una gran fiabilidad y un bajo costo. En la práctica, a menudo se utiliza un RAM durante la fase de programación y puesta a punto de la máquina. Una vez finalizada la puesta en marcha, el programa se transfiere a una EPROM.

### c) MEMORIAS EEPROM

La EEPROM (electrically erasable programmable ROM / ROM programable y borrrable eléctricamente) y la 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 PLCs. La EEPROM es una memoria borrrable eléctricamente, que puede reescribirse.

## E) MÓDULO DE ENTRADAS DE UN PLC

El módulo de entradas de un PLC 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) son 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

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

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 externas dañinas. 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 periodo 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.

## F) MÓDULO DE SALIDAS DE UN PLC

Los módulos de salida 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 dañinas 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 los módulos de salida, hay disponibles dos métodos fundamentalmente diferentes para conseguir lo indicado: El uso de relés o electrónica de potencia.

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 corto circuito, protección ante sobrecargas y amplificación de potencia, se ofrecen a menudo como módulos completamente integrados.

## G) DISPOSITIVO PROGRAMADOR O PC

Cada PLC tiene una herramienta de diagnóstico y programación para soportar la aplicación del PLC.

- Programación
- Verificación
- Puesta a 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 costo inicial y alta flexibilidad, representan ventajas cruciales.

También se han desarrollado los denominados programadores de mano para pequeños sistemas de control y para tareas de mantenimiento. Con la creciente utilización de ordenadores personales portátiles (Lap Top), funcionando con baterías, la importancia de los programadores de mano disminuye paulatinamente.

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

Cualquier software de programación debe 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 de 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 de la correspondiente PC.

\* 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 salidas, entradas, temporizadores, 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.

## 2.9 PROGRAMACIÓN DE UN PLC

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

Estos 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 consta de las siguientes partes:

- **Especificación** : Descripción de la tarea de control, croquis de situación, estructura de los programas de control
- **Diseño**: Descripción de la solución, diagrama espacio tiempo, tabla de funciones, definición de los módulos de software, lista de piezas y esquemas del circuito.
- **Realización**: Puesta en práctica de la solución, programación en alguno de los lenguajes de PLC, simulación de subprogramas y del conjunto de programas.
- **Integración/puesta a punto**: Incorporación en el entorno y verificación de la solución, construcción del sistema, verificación de los subprogramas, verificación del conjunto de programas.

Cada una se describe a continuación:

### A) ESPECIFICACIÓN

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
- Macro estructuración del sistema o proceso y con ello un esbozo de la estructura de la solución.

## B) DISEÑO

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.

Empezando con una representación de una visión de conjunto del control, la solución puede refinarse paso a paso hasta que se obtenga un nivel de descripción que contenga todos los detalles de la solución. En el caso de tareas de control complejas, la solución es estructurada, en paralelo con esto, en módulos de software realizan las etapas de trabajo del sistema de control. Estos pueden ser funciones especiales como la realización de una interfase para la visualización del proceso, o sistemas de comunicación, o incluso etapas de trabajo recurrentes permanentemente. El diagrama espacio fase, representa otra forma estándar para la descripción de sistemas de control.

### C) REALIZACIÓN

La traducción del concepto de la solución en un programa de control se realiza a través de los lenguajes de programación propios del PLC, estos son: diagrama de funciones secuencial, diagrama de bloques de función, diagrama de contactos o diagrama en escalera, lista de instrucciones y texto estructurado.

Para este proyecto de tesis nos enfocaremos en el diagrama de contactos comúnmente conocido como programación en escalera (LDR)

La programación en escalera o diagrama de contactos es un lenguaje de programación adecuado para la formulación de operaciones básicas y para sistemas de control que pueden ser descritos por simples señales lógicas combinadas por operaciones booleanas.

En la medida en que los sistemas de programación de PLCs 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.

### D) 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.

## E) 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, deberían estar disponibles 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
- Lista de asignaciones de entradas y salidas
- Documentación adicional

## F) DIAGRAMA DE CONTACTOS O DIAGRAMA EN ESCALERA (ladder diagram ) LD

Este lenguaje de programación es un lenguaje gráfico derivado de los esquemas de circuitos de los mandos por relevadores directamente cableados. El diagrama de contactos contiene líneas de alimentación a la derecha e izquierda del diagrama; a estas líneas están conectados los renglones, que se componen de contactos (normalmente abiertos y normalmente cerrados) y de elementos de bobina, como se indica en la figura 2.5. En el cual se tiene el accionamiento de un botón pulsador (S1) hace que se encienda una lámpara (H1). La lámpara debe permanecer iluminada mientras el pulsador se halle accionado.



Figura 2.5. Diagrama de contactos.

El lenguaje de diagrama de contactos (o diagrama en escalera), al igual que en el diagrama de bloques de función representa un lenguaje de programación gráfico. Los elementos disponibles en un diagrama de contactos son los contactos y las bobinas en diferentes

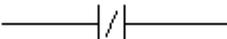
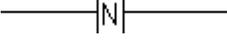
formas. Estas están dispuestas en renglones (rungs) entre las dos líneas verticales de mando a derecha e izquierda.



Figura 2.6. Estructura básica de un renglón

La figura 2.6 ilustra la estructura básica de un renglón. En este ejemplo, el estado de la entrada está directamente asignado a la salida. La tabla 2.1 contiene una lista de los elementos más importantes asignados a un diagrama de contactos.

Contactos

	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Contacto de flanco positivo
	Contacto de flanco negativo

Bobinas

	Bobina
	Bobina negada
	Activación de una bobina remanente
	Desactivación de una bobina remanente
	Bobina activada por flanco positivo
	Bobina activada por flanco negativo

Tabla 2.1. Elementos del diagrama de contactos

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

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

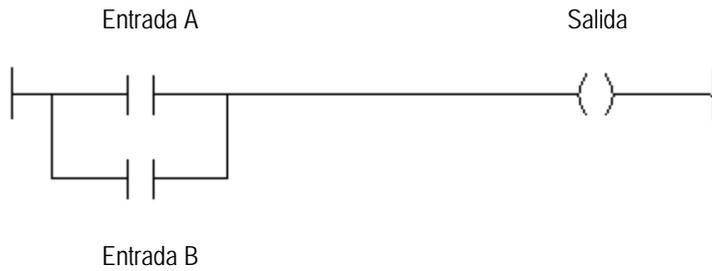
Las funciones básicas AND y OR pueden ser realizadas por medio de una configuración correspondiente de contactos en el renglón actual.

#### a) Función AND



La función AND es representada por medio de la conexión en serie de dos contactos. La salida solo se activa si ambas entradas A y B se hallan activadas. En todos los demás casos, la salida es desactivada.

## b) Función OR



La función OR se obtiene a través de la conexión en paralelo de contactos. La salida asume el valor 1, si la entrada A o la entrada B asumen el valor 1, o si ambas condiciones se cumplen simultáneamente.

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

## 2.10 PUESTA A PUNTO DE UN PLC

Una vez montado e instalado el equipo y cargado el programa en la memoria de la Unidad Central, hay que poner en marcha el sistema para comprobar que responde adecuadamente a la descripción de la tarea de control original, y en su caso realizar las correcciones y mejoras oportunas.

Antes de dar alimentación, hay que hacer una serie de comprobaciones rutinarias pero importantes:

- 1.- Comprobar que todos los componentes del PLC están en su lugar (el que corresponde a la configuración) perfectamente insertados en sus conectores y asegurados.
- 2.- Comprobar que la línea de alimentación está conectada a los correspondientes terminales de la fuente de alimentación del equipo, y que se distribuye adecuadamente a los módulos de entrada y salida.
- 3.- Verificar que los cables de conexión a periféricos están correctamente instalados.
- 4.- Verificar que las conexiones de los bornes de E/S están firmes y corresponden al esquema de cableado y de conexiones.

Previo al ensayo de funcionamiento según lo programado, hay que comprobar que los dispositivos de E/S funcionan correctamente,

Una vez finalizadas todas las comprobaciones anteriores, hay que introducir el programa en la memoria de la Unidad Central y dar alimentación al sistema.

Verificadas y corregidas las distintas secuencias, el sistema puede arrancar debiendo funcionar correctamente si todas las comprobaciones se han efectuado con éxito. Las

correcciones efectuadas, tanto en la instalación como en el programa deben ser documentadas inmediatamente, y se obtendrán copias del programa definitivo (copia, en disco o cinta) tan pronto como sea posible.

Los programas de PLC nunca se terminan, en el sentido de que siempre es posible hacer correcciones y las consiguientes adaptaciones a los nuevos requerimientos del sistema.

Incluso durante la puesta a punto, a menudo son necesarios los cambios en el programa.

La puesta a punto de un sistema puede dividirse básicamente en cuatro etapas:

- Verificación del hardware
- Transferencia y verificación del software
- Optimización del software
- Puesta en marcha del sistema

#### A) VERIFICACIÓN DEL HARDWARE

Cada sensor se conecta a una entrada específica y cada actuador a una salida; las direcciones no deben mezclarse. Esta es la razón por la que el primer paso en la verificación del hardware siempre debe hacerse tras la lista de asignaciones. Se debe asignar todos los sensores y actuadores a las direcciones de entrada y salida correctas, se debe identificar plenamente la función señal 0 y señal 1. La lista de asignaciones debe corregirse y completarse antes de la puesta a punto de un programa ya que forma parte de la documentación. Durante la verificación, las salidas se activan para comprobarlas. Los actuadores deben cumplir con las funciones especificadas.

## B) TRANSFERENCIA Y VERIFICACIÓN DEL SOFTWARE

Incluso antes de la puesta a punto, todas las facilidades de verificación del programa sin conexión con el control, deberían utilizarse intensivamente. Una de estas funciones de prueba muy práctica es, por ejemplo, la simulación del programa.

A continuación, el programa es transferido a la unidad central de control del PLC. Un pequeño número de PLCs ofrecen actualmente facilidades para la simulación: Todo el programa se ejecuta sin que haya entradas ni salidas conectadas. De forma similar, sólo la conexión de las salidas puede omitirse. Así, el procesamiento de las salidas del PLC se realiza solamente en la tabla de imagen, cuyos estados no son traspasados físicamente a las salidas disponibles. Esto, por lo tanto, elimina el riesgo de dañar partes de la máquina o del sistema, lo cual es de mucha importancia en el caso de procesos críticos o peligrosos.

Tras esto, las partes individuales del programa y las funciones del sistema se verifican: Funcionamiento manual, ajuste, programas de supervisión individual, etc, y finalmente la interacción de las partes del programa con la ayuda de todo el conjunto.

Con ello, el programa es puesto a punto paso a paso, aspectos importantes de la puesta a punto y la detección de errores son las funciones de test de los sistemas de programación, tales como el funcionamiento paso a paso o el establecimiento de puntos de parada. El modo de paso a paso tiene una particular importancia, ya que con ello el programa se ejecuta en la memoria del PLC línea a línea o paso a paso. De esta forma, cualquier error que pudiera haber en el programa puede ser localizado inmediatamente.

### C) OPTIMIZACIÓN DEL SOFTWARE

Casi siempre, los programas largos pueden mejorarse tras la primera prueba de funcionamiento. Es importante que cualquier modificación o corrección se haga no tan sólo en el programa del PLC, sino que también se tenga en cuenta en la documentación. Además de la documentación, debe guardarse cada vez el nuevo estado del software.

### D) PUESTA EN MARCHA DEL SISTEMA

Esto ya se produce en parte durante la fase de optimización y verificación. Una vez que el estado final del programa PLC y la documentación han sido establecidos, hay que ejecutar de nuevo todas las funciones del control (de acuerdo con la tarea). Entonces el sistema está listo par ser aceptado por el cliente o el correspondiente departamento.

## 2.11 SEGURIDAD FUNCIONAL DE UN PLC

### A) ALIMENTACIÓN DE TENSIÓN AL PLC

Debe distinguirse entre la tensión de control (tensión de las señales entre la máquina controlada y el PLC) y la tensión de la lógica (tensión de alimentación interna de la unidad central de control). El nivel de tensión de funcionamiento de un PLC se halla entre 24 VDC y 48 VDC.

### B) TENSIÓN DE CONTROL

La tensión de control alimenta a los sensores y actuadores. Para ello el usuario debe conectar una fuente de alimentación al control. La tensión de control de un PLC es

generalmente de 24 VCD o 230 VAC. La potencia de la fuente de alimentación depende del control utilizado y de las entradas/salidas conectadas.

El valor de la tensión de control permite una cierta tolerancia. En general, los módulos del PLC están protegidos contra sobretensiones, dependiendo del módulo a través del cual se realiza la unidad central de control.

### C) TENSIÓN DE LA LÓGICA

Además, un PLC requiere una alimentación para la lógica interna: la tensión de la lógica, que forma las señales en la unidad central. Dado que la tensión de la lógica debe cumplir con exigencias muy estrictas, debe estar estabilizada.

Hay tres posibilidades de tensión de alimentación:

- 1.- La tensión de control y la tensión de la lógica se generan completamente separadas de la tensión principal.
- 2.- Dos fuentes de alimentación combinadas en una caja para la generación de ambas tensiones.
- 3.- la tensión de la lógica es generada a partir de la tensión de control (no de la tensión principal).

### D) SUPRESIÓN DE INTERFERENCIAS

Todos los PLC's son extremadamente sensibles a las interferencias eléctricas. Debe distinguirse entre dos versiones diferentes:

- Interferencias que alcanzan la tensión de la lógica desde la alimentación de tensión a través de la fuente de alimentación;
- Interferencias que afectan a las líneas desde y hacia los sensores y actuadores.

#### a) INTERFERENCIAS EN LA TENSIÓN LÓGICA

Un filtro principal de supresión de interferencias y un condensador protegen contra interferencias de este tipo. El filtro principal de supresión de interferencias protege contra sobretensiones y señales de interferencia de la alimentación de tensión. Un condensador almacena energía eléctrica, con lo que la tensión de alimentación del control está protegida en el caso de breves fallos de tensión.

Si este tipo de supresión de interferencias no ha sido incorporado por el fabricante del PLC, deberá ser el usuario quien instale consecuentemente un filtro principal de supresión de interferencias y un condensador.

#### b) INTERFERENCIAS EN LA LÍNEA DESDE Y HACIA SENSORES Y ACTUADORES

Los pulsos de interferencia en las líneas eléctricas pueden producir falsas señales 1 ó 0 en las entradas de los PLCs, que no corresponden a las emitidas por los sensores. Estas señales pueden generarse por efecto de otros cables al inducir voltajes a la línea de comunicación.

Este tipo de interferencias es peligrosa: Por ello, como norma, los módulos de entrada de un PLC están protegidos por medio de optoacopladores conectados en serie y por un retardo de las señales. El optoacoplador protege contra tensiones de hasta 5kV aproximadamente. El retardo de la señal evita señales falsas ya que estas generalmente son muy breves. El retardo puede oscilar entre 1 y 20 ms, según el tipo de PLC. Los módulos de entrada de alta

velocidad (sin señal de retardo) deben apantallarse, por ejemplo por medio de cables blindados para actuar como un escudo electrostático.

Los módulos de salida contienen también un optoacoplador para protección contra sobretensiones. Además, las salidas están protegidas ante cortocircuitos, aunque nominalmente no ante cortocircuitos muy prolongados.

### c) TENSIÓN INDUCIDA

Cuando se corta la tensión que alimenta a una carga inducida (por ejemplo una bobina de electroválvula), se crea una tensión inducida en la bobina.

Esta tensión inducida, que puede alcanzar valores muy altos, debe eliminarse para proteger el módulo de salida. Para ello se utiliza un diodo supresor. Los módulos de salida de muchos PLCs ya están provistos de diodos supresores de este tipo. Sin embargo. En este caso, la tensión residual se convierte en un factor de interferencia en los cables de interconexión. Por ello deben tomarse medidas protectoras directamente en el punto de origen, es decir, en la bobina: por medio de un diodo supresor o por un **varistor** (resistencia que depende de la tensión). También pueden utilizarse en paralelo con la bobina dos **diodos zener** polarizados inversamente. Sin embargo, para tensiones que sobrepasen los 150 V, deben conectarse en serie varios diodos.

### E) PARO DE EMERGENCIA

Si se acciona el paro de emergencia, es esencial llegar a la situación que sea menos peligrosa, tanto para las personas como para el sistema. Los elementos finales de control y los actuadores que pudieran provocar situaciones peligrosas, deben desconectarse inmediatamente. Por el contrario, los elementos de control finales y los actuadores que

podieran provocar situaciones peligrosas a las personas o al sistema cuando se desactivan, deberán seguir activados incluso en un caso de emergencia (por ejemplo dispositivos de sujeción). En un sistema automatizado, en cualquier momento debe disponerse de la posibilidad de accionar el paro de emergencia.

Esta es la razón por la que los controles electrónicos no deben asumir la función de paro de emergencia. El circuito de paro de emergencia debe ser establecido independientemente del PLC por medio de la técnica de **relevadores** (contactos físicos) ya que sería imposible activar un paro de emergencia en un control averiado o simplemente detenido, en general, deben actuar sobre un **contactor** de maniobra que corta la alimentación a las cargas de la instalación.

Una vez que el paro de emergencia ha sido desenclavado, no debe ser posible que la máquina se ponga en marcha automáticamente.

El circuito de paro de emergencia por hardware realiza la verdadera función de seguridad. Adicionalmente, también puede enviarse al PLC una señal de paro de emergencia. Independientemente de la acción que se haya realizado por hardware, los programas del PLC deben reaccionar en consecuencia; en este caso, desactivando todas las salidas. Esto se define en un programa paralelo. Una vez que se ha repuesto el paro de emergencia, el sistema no debería poder arrancar de nuevo por sí solo. Debe accionarse un pulsador independiente para volver a poner en marcha el sistema.

Si se requieren medidas de seguridad adicionales para el paro de emergencia, deben utilizarse relevadores o controles neumáticos adicionales por parte del usuario.

# **CAPÍTULO 3**

# **NEUMÁTICA**

### 3.1 INTRODUCCIÓN

La neumática es un tipo de energía que ofrece ventajas importantes comparada con la energía eléctrica, esto se observa considerando algunos tipos de aplicaciones específicas, por ejemplo en la industria petrolera donde no se pueden usar herramientas o máquinas eléctricas en los pozos de perforación para manipular directamente el petróleo, ya que este es un compuesto de hidrocarburos, básicamente una combinación de carbono e hidrógeno el cual es un gas altamente explosivo. Con la neumática el aire comprimido es quién suministra la fuerza a las herramientas llamadas neumáticas, como perforadoras, martillos, remachadoras o taladros de roca. El aire comprimido también se emplea en las minas de carbón para evitar que se produzcan explosiones por chispas eléctricas que hacen detonar las bolsas de gas.

En general la neumática ofrece la posibilidad de almacenamiento de energía, se mantiene estable a variaciones de temperatura, es fácil de transportar a grandes distancias y no tiene riesgos en relación a la propagación de fuegos o explosión. Es un medio de trabajo rápido el cual permite obtener movimientos de alta velocidad en actuadores, los cuales al ser herramientas de trabajo, pueden funcionar hasta quedar totalmente bloqueados sin sufrir daño alguno.

El aire comprimido se obtiene mediante el uso de un compresor de aire, el cual es una máquina que disminuye el volumen de una determinada cantidad de aire y aumenta su presión por procedimientos mecánicos. El aire comprimido posee una gran energía potencial, ya que si eliminamos la presión exterior se expandirá rápidamente.

## 3.2 FUNDAMENTOS FISICOS

En la neumática se manejan varios conceptos y propiedades, para facilitar el entendimiento se incluyen a continuación una lista de las magnitudes físicas así como la definición de algunos conceptos.

### A) NEUMATICA

La neumática se define como la parte de la física que tiene como objetivo el estudio del movimiento de los gases, para esto se involucran distintas propiedades y leyes físicas que se explican más adelante.

Con la neumática el aire comprimido es quién suministra la fuerza a las herramientas llamadas neumáticas, como perforadoras, martillos, remachadoras o taladros de roca.

En general la neumática ofrece la posibilidad de almacenamiento de la energía, se mantiene estable a variaciones de temperatura, es fácil de transportar a grandes distancias y no tiene riesgos en relación a propagación de fuego o explosión. Es un medio de trabajo rápido el cual permite obtener movimientos de alta velocidad en actuadores, los cuales al ser herramientas de trabajo, pueden funcionar hasta quedar totalmente bloqueados sin sufrir daño alguno.

### B) COMPOSICIÓN DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera es la mezcla de varios gases cuya composición esta constituida principalmente por nitrógeno (78%) y oxígeno (21%). El 1% restante lo forman el argón (0.9%), el dióxido de carbono (0.03%), distintas proporciones de vapor de agua y trazas de hidrógeno, ozono, metano, monóxido de carbono, helio, neón, kriptón y xenón.

El contenido en vapor de agua del aire varía considerablemente en función de la temperatura y de la humedad relativa. Con un 100% de humedad relativa, máxima cantidad de vapor de agua admisible a una determinada temperatura, la cantidad de vapor de agua varía de 190 partes por millón (ppm) a  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta 42.000 ppm a  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otros elementos que en ocasiones constituyen parte de la atmósfera en cantidades minúsculas son el amoníaco, el sulfuro de hidrógeno y óxidos, como los de azufre y nitrógeno cerca de los volcanes, arrastrados por la lluvia o la nieve.

La atmósfera se divide en varias capas como se indica en la figura 3.1. En la capa inferior, la troposfera, la temperatura suele bajar  $5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por cada 1.000 metros. Es la capa en la que se forman la mayor parte de las nubes. La troposfera se extiende hasta unos 16 km en las regiones tropicales (con una temperatura de  $-79\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) y hasta unos 9,7 km en latitudes templadas (con una temperatura de unos  $-51\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A continuación está la estratosfera. En su parte inferior la temperatura es prácticamente constante, o bien aumenta ligeramente con la altitud, especialmente en las regiones tropicales. Dentro de la capa de ozono, aumenta más rápidamente, con lo que, en los límites superiores de la estratosfera, casi a 50 km sobre el nivel del mar, es casi igual a la temperatura en la superficie terrestre. El estrato llamado mesosfera, que va desde los 50 a los 80 km, se caracteriza por un marcado descenso de la temperatura al ir aumentando la altura.

La densidad del aire seco al nivel del mar representa aproximadamente un  $1/800$  de la densidad del agua. A mayor altitud desciende con rapidez, siendo proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura. La presión se mide mediante un barómetro y su valor, expresado en torr, está relacionado con la altura a la que la presión atmosférica mantiene una columna de mercurio; 1 torr equivale a 1 mm de mercurio. La presión

atmosférica normal a nivel del mar es de 760 torr, o sea, 760 mm de mercurio. En torno a los 5,6 km es de 380 torr; la mitad de todo el aire presente en la atmósfera se encuentra por debajo de este nivel. La presión disminuye más o menos a la mitad por cada 5,6 km de ascensión. A una altitud de 80 km la presión es de 0,007 torr.

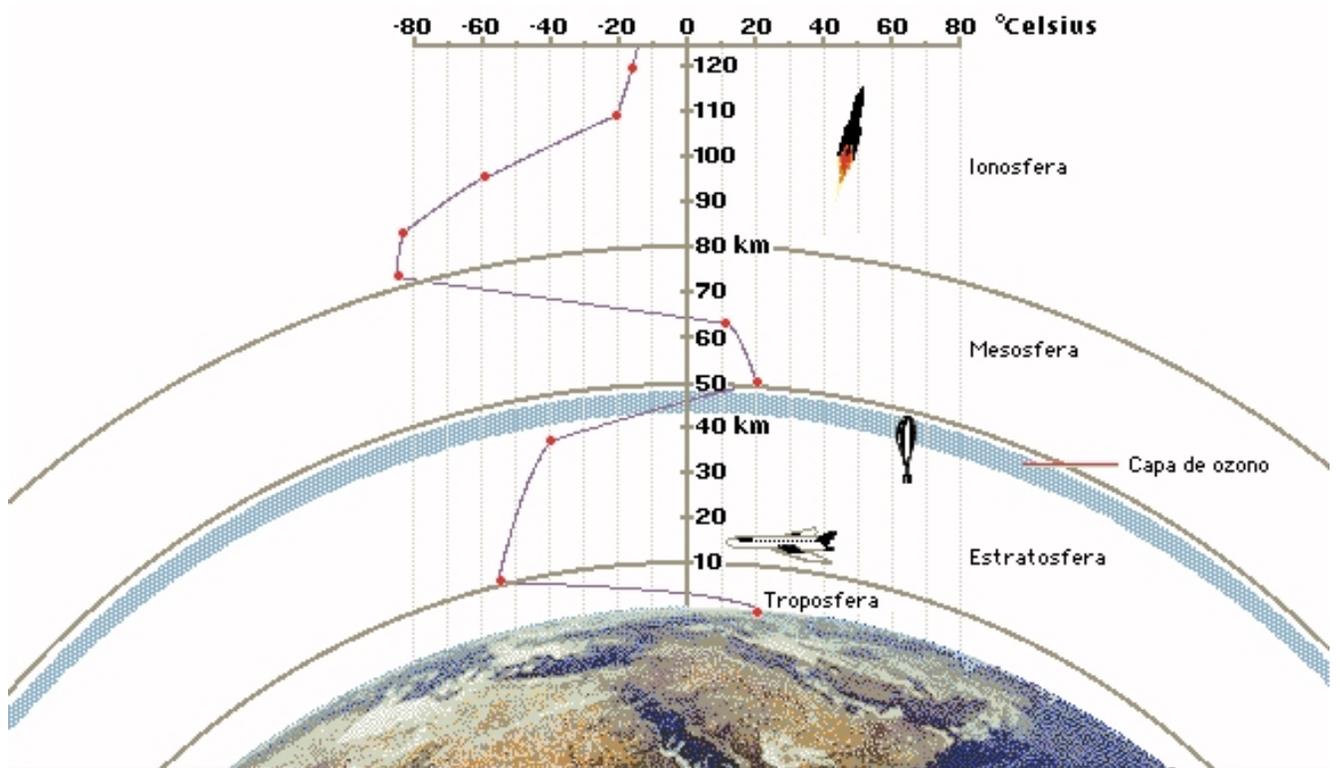


Figura 3.1. Temperatura y altura de las diferentes capas de la atmósfera

## C) UNIDADES FUNDAMENTALES

<b>MAGNITUD</b>	<b>NOMBRE DE LA UNIDAD</b>	<b>SIMBOLO</b>
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Temperatura	Grado centígrado	°C

## Unidades derivadas

<b>MAGNITUD</b>	<b>NOMBRE DE LA UNIDAD</b>	<b>SIMBOLO</b>
Fuerza	Newton	N, $1\text{N} = 1\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$
Superficie	Metro cuadrado	$\text{m}^2$
Volumen	Metro cúbico	$\text{m}^3$
Caudal	Metro cúbico por seg	$\text{m}^3/\text{s}$
Presión	Pascal	Pa, $1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$

## D) PRESIÓN

Presión en mecánica, fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie, en el sistema internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newton por metro cuadrado, a esto se le conoce como Pascal ( $\text{Pa}=\text{N}/\text{m}^2$ ), puesto que el  $\text{N}/\text{m}^2$  es una unidad muy pequeña se utiliza el Bar (b) que equivale a  $10^5 \text{ N}/\text{m}^2$ .

$$1\text{Kpa} = 1000 \text{ N}/\text{m}^2$$

$$100\text{Kpa} = 10^5 \text{ N}/\text{m}^2 = 1 \text{ Bar}$$

La presión también suele medirse en atmósferas (atm). La presión imperante en la superficie terrestre es denominada presión atmosférica ( $P_{\text{atm}}$ ), esta presión también es denominada presión barométrica o presión de referencia. La presión atmosférica no es constante, su valor cambia según la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas.

La atmósfera se define como 101.325 Pa y equivale a 760mm de mercurio en un barómetro convencional.

En la figura 3.2 se indica que la presión superior a la presión de referencia es denominada sobrepresión ( $P_e > 0$ ), mientras que la presión inferior a ella se llama subpresión ( $P_e < 0$ ).

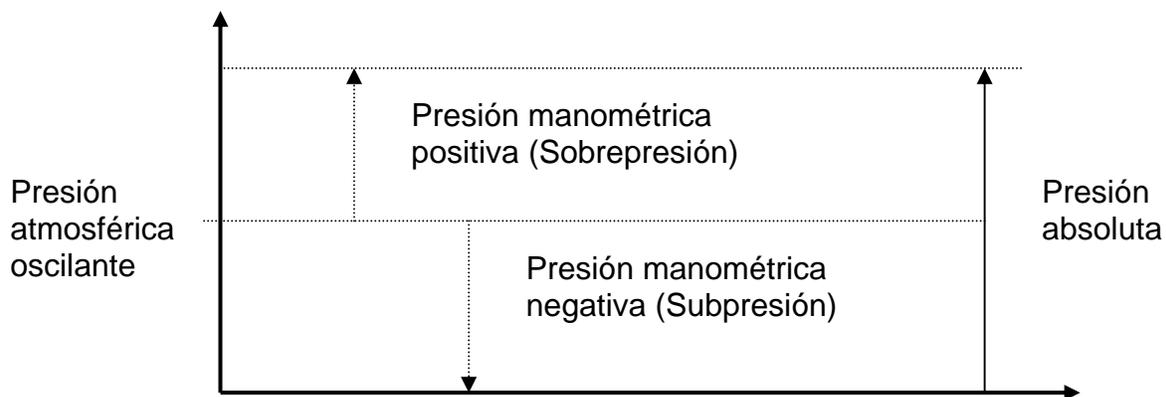


Figura 3.2. Rango de presiones

La diferencia de presión  $P_e$  se calcula según la siguiente fórmula:

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

La presión absoluta  $P_{abs}$  es el valor relacionado con la presión cero (en vacío). La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica más la sobrepresión o subpresión, en la práctica suelen utilizarse sistemas de medición de la presión que solo indican el valor de la sobrepresión  $P_e$ . El valor de la presión absoluta  $P_{abs}$  es más o menos 1 Bar más elevado.

## E) MEDIDORES DE PRESIÓN

## a) BARÓMETRO

Se llama barómetro a cualquier instrumento usado para medir la presión de la atmósfera. El principio de operación del barómetro de mercurio que aparece en la figura 3.3 consiste en un tubo de vidrio de más de 76cm de longitud, cerrado en un extremo. Se llena con mercurio, el extremo abierto se cubre, y el tubo se invierte en una cubeta de mercurio: cuando se descubre el extremo abierto, el mercurio fluye fuera del tubo hasta que la presión ejercida por la columna de mercurio equilibrada exactamente la presión atmosférica que actúa sobre el mercurio en la cubeta: salvo por un poco de vapor de mercurio, el espacio que queda en la parte superior del tubo es un vacío perfecto, como la presión en el tubo arriba de la columna de mercurio es cero, la altura  $h$  de la columna sobre el nivel del mercurio en la cubeta indica la presión atmosférica. A nivel del mar, una presión atmosférica causará que el nivel de mercurio en el tubo se establezca a una altura de 76cm o 30 pulg.

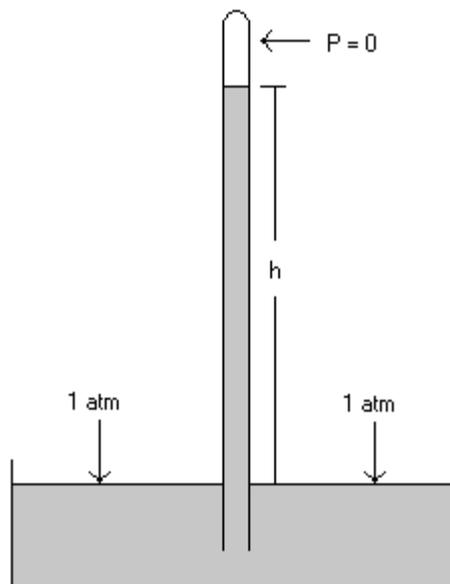


Figura 3.3. Barómetro simple

## b) MANOMETROS

El manómetro se utiliza para medir la presión de un gas en el interior de un tanque. Para pequeñas diferencias de presión se emplea un manómetro como el que se muestra en la figura 3.4 que consiste en un tubo en forma de “U” con un extremo conectado al recipiente que contiene el fluido y el otro extremo abierto a la atmósfera. El tubo contiene un líquido como agua, aceite o mercurio, y la diferencia entre los niveles de líquido en ambas ramas indica la diferencia entre la presión del recipiente y la presión atmosférica.

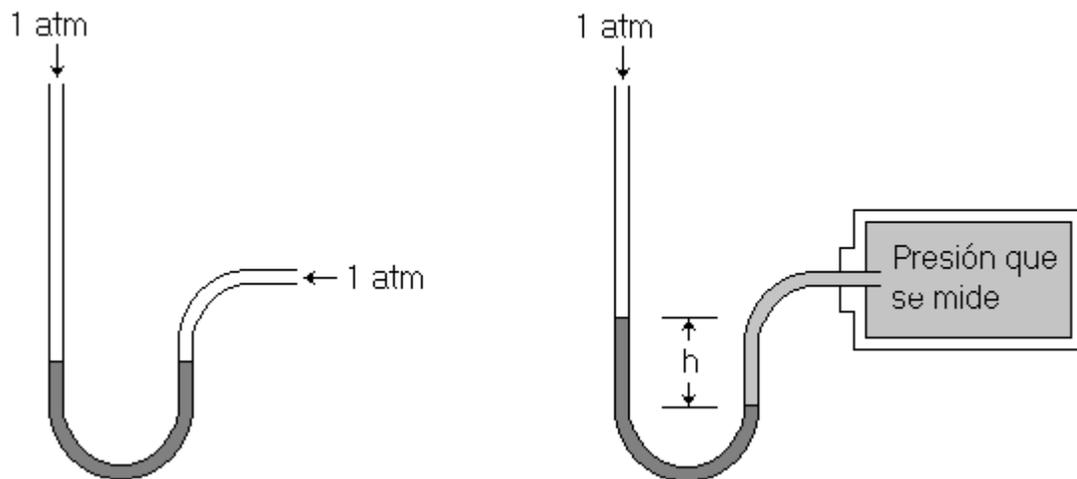


Figura 3.4. Manómetro de tubo abierto.

La diferencia de niveles o altura  $h$  de la columna de mercurio se utiliza para obtener la presión del sistema, es decir:

Si  $h = 10\text{cm}$

$$P = Dh = \rho g h$$

Donde:  $\rho$  - Densidad del mercurio en estado líquido =  $13,692 \text{ Kg/m}^3$

$g$  - Aceleración de la gravedad =  $9.81 \text{ m/s}^2$

$h$  - Altura o diferencia de niveles =  $10 \text{ cm}$

$$P = (13,692\text{Kg/m}^3) (9.81 \text{ m/s}^2) (0.1\text{m}) = 13.431$$

Análisis dimensional:

$$\left[ \frac{kg}{m^3} \right] \left[ \frac{m}{s^2} \right] [m] = \left[ \frac{kg \cdot m}{s^2} \right] \left[ \frac{1}{m^2} \right] = \left[ \frac{N}{m^2} \right]$$

$$13431 \left[ \frac{N}{m^2} \right] = 13.431 [kPa]$$

Para diferencias de presión mayores se utiliza el manómetro de Bourdon como el que se indica en la figura 3.5, llamado así en honor al inventor francés Eugéne Bourdon. El indicador de Bourdon está formado por un tubo hueco de sección ovalada curvado en forma de gancho, la presión tiende a enderezar el tubo, que tiene un extremo fijo al otro, cerrado, unido al mecanismo indicador. Los manómetros empleados para registrar fluctuaciones rápidas de presión suelen utilizar sensores piezoeléctricos o electrostáticos que proporcionan una respuesta instantánea.

Estos indicadores miden el exceso de presión con respecto a la atmósfera. Por ello la presión absoluta o presión verdadera es igual a la suma de la presión indicada más la presión atmosférica. Una lectura negativa del manómetro corresponde a una presión de vacío.

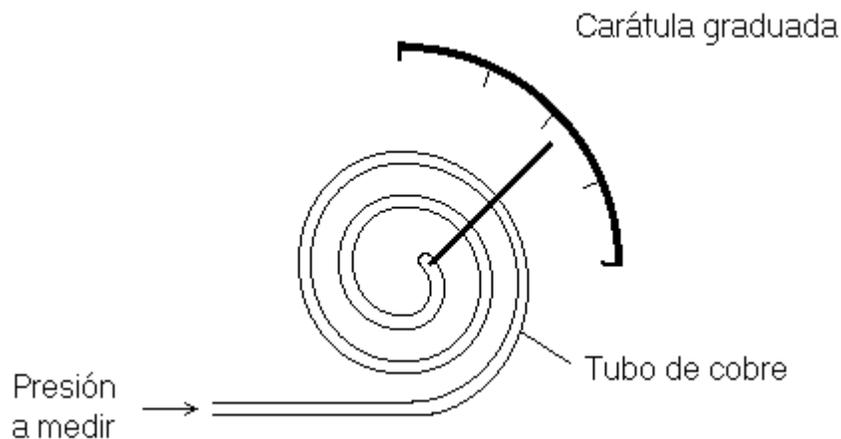


Figura 3.5. Manómetro tipo Bourdon.

## F) CAUDAL

El caudal o gasto (Q) en neumática es la cantidad de aire que fluye a través de una tubería por unidad de tiempo, expresada como:

$$Q = V/t \text{ (Lts/s), (Gal/min), (m}^3\text{/h), (ft}^3\text{/min)}$$

## G) COMPRESIBILIDAD

Propiedad que presentan los cuerpos materiales de disminuir su volumen cuando se aumenta la presión ejercida sobre ellos. Este efecto mucho mayor en los gases que en los líquidos y sólidos.

El módulo de compresibilidad es el cociente, cambiado de signo, entre la variación de presión que experimenta un cuerpo y la variación relativa de volumen correspondiente.

Una de las diferencias fundamentales entre los líquidos y los gases es su comportamiento frente a los cambios exteriores de presión; así los líquidos son prácticamente incompresibles mientras los gases pueden reducir considerablemente su volumen.

Se pueden distinguir dos tipos de compresión en los gases: Una compresión a temperatura constante o isotérmica y una compresión en un recinto aislado sin intercambio de calor o adiabática.

Se incluyen en este último tipo las compresiones rápidas, ya que en ellas no hay tiempo para que se produzcan intercambios de calor.

En una compresión isotérmica, el volumen (V) ocupado por una determinada masa gaseosa es inversamente proporcional a la presión (P), es decir, el producto PV permanece constante.

En una compresión adiabática es el producto  $P V^g$  el que permanece constante, donde  $g$  es una constante característica del gas y que siempre es mayor que la unidad.

En el caso de un gas ideal, el producto de la presión por el volumen de una masa gaseosa es constante a temperatura constante. (Ley de Boyle – Mariotte).

### G) LEY DE BOYLE MARIOTTE

Las primeras mediciones experimentales del comportamiento térmico de los gases fueron realizadas por Robert Boyle quien estudió los cambios en el volumen de los gases como resultado de los cambios de presión. Las demás variables tales como la masa y la temperatura, se mantuvieron constantes. Se demostró que el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión, esto se muestra de manera esquemática en la figura 3.6. En otras palabras, al duplicarse el volumen disminuye la presión a la mitad de su valor original. Considerando estados inicial y final se tiene la ecuación.

$$P_1V_1 = P_2V_2 \text{ con } m \text{ y } t \text{ constantes}$$

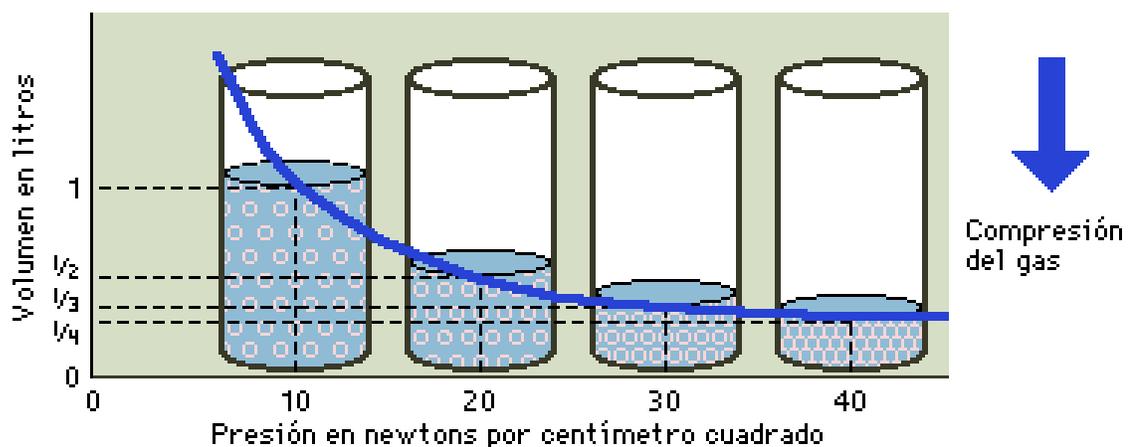


Figura 3.6. Ley de Boyle Mariotte

## H) PROPIEDADES DEL AIRE

El aire esta compuesto por una mezcla de gases: Principalmente nitrógeno, oxígeno y bióxido de carbono.

En el aire, la falta de cohesión es característica. El aire, al igual que todos los gases, no tiene una forma definida, su forma cambia a la más mínima fuerza y además ocupa el volumen máximo disponible.

### 3.3 AIRE COMPRIMIDO

Para garantizar la fiabilidad de un mando neumático es necesario que el aire alimentado al sistema tenga un nivel de calidad suficiente. Ello implica considerar factores como la correcta presión de trabajo y el aire limpio y seco. De otra forma es posible que se originen tiempos prolongados de inactivación de las maquinas, además, costos de servicio mas elevados.

#### A) PEPARACION DE AIRE COMPRIMIDO

La generación de aire a presión empieza por la compresión del 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
- \* Puntos de evacuación del condensado

El aire 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. Esta circunstancia 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.

## B) NIVEL DE LA PRESION

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 el flujo de aire en los diversos elementos y en las tuberías, deberá contarse con una pérdida de presión entre 10 y 50 kPa con el fin de mantener una presión de servicio de 600 kPa.

## C) 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. Se pueden clasificar en:

- Compresores de émbolo alternativo (puede ser de émbolo o de membrana)
- Compresor de émbolo giratorio
- Compresor de flujo (puede ser compresor radial o axial)

### a) COMPRESOR 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.

Los compresores de embolo son utilizados con frecuencia porque su gama cubre un amplio margen de presiones. Para generar presiones elevadas se recurre a un sistema escalonado de estos compresores. En ese caso, el aire es enfriado entre cada una de las etapas de compresión.

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

Hasta 400 kPa..... una etapa

Hasta 1500 kPa..... dos etapas

Hasta 15000 kPa.....tres o mas etapas

b) COMPRESORES DE MEMBRANA

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

c) COMPRESOR DE EMBOLO GIRATORIO

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

d) COMPRESOR HELICOIDAL

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

e) COMPRESOR DE FLUJO

Especialmente apropiadas para grandes caudales. Los compresores de flujo se fabrican en dos tipos de construcción, axial y radial. Mediante uno o dos rodets 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 rodets en el sentido axial de la circulación.

## D) ACUMULADOR NEUMATICO

Para estabilizar el aire comprimido se coloca adicionalmente al compresor un acumulador.

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 llenara 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. En la figura 3.7 se muestran las partes básicas de un acumulador neumático.

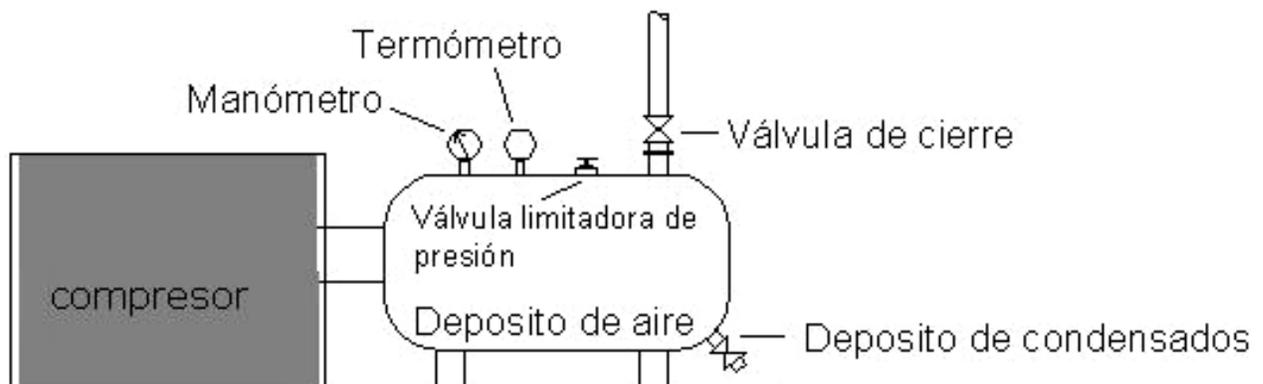


Figura 3.7. Acumulador neumático

El tamaño del acumulador depende de los siguientes criterios

- \* Caudal del compresor
- \* Cantidad de aire requerida en el sistema
- \* Red de tuberías
- \* Regulación del compresor
- \* Oscilación permisible de la presión en el sistema.

#### E) DISTRIBUCION DEL AIRE

Para que la distribución del aire sea fiable y no cause problemas, es recomendable acatar 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.

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 la presión en todo el sistema debería ser 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 de la cantidad de aire alimentado al sistema.

#### F) RESISTENCIA AL CAUDAL

Cualquier tipo de influencia que incida 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, la elección de los materiales adecuados y el montaje correcto de las conexiones pueden contribuir a que la reducción sea mínima.

## G) MATERIAL DE LAS TUBERIAS

Los sistemas neumáticos modernos exigen la instalación de tubos que cumplan con determinadas condiciones. Un ejemplo aparece en la figura 3.8, donde los materiales de las tuberías tienen que cumplir con un bajo nivel de pérdida de presión, estanqueidad, resistencia a la corrosión y posibilidad de ampliación.

En lo que respecta al uso de materiales de plástico, no solo tienen 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.

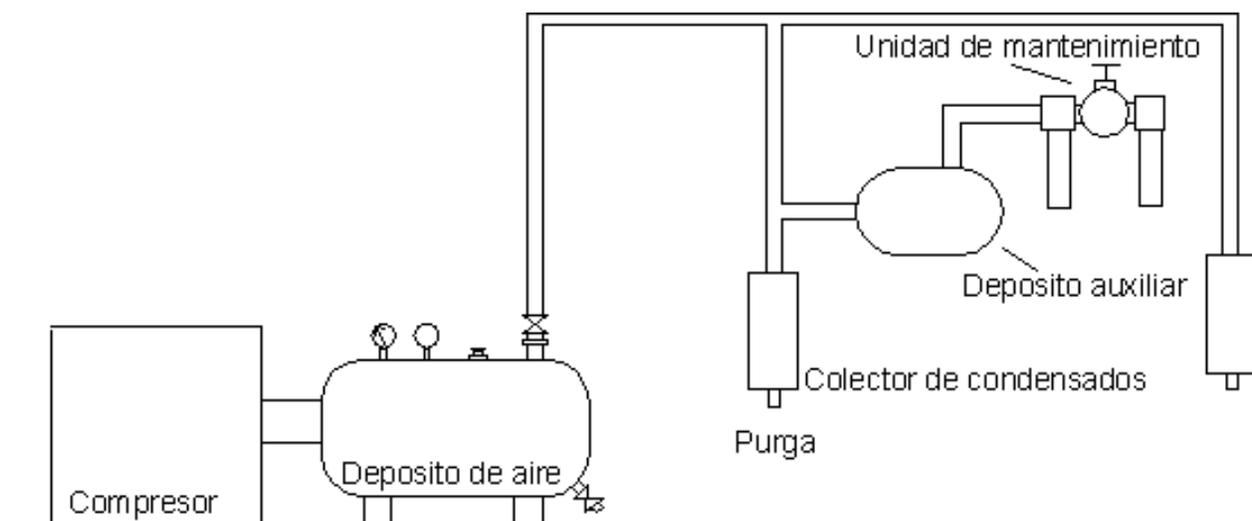


Figura 3.8. Sistema de abastecimiento de aire.

Las tuberías de cobre o acero, por el contrario, son más baratas, pero para unir las hay que soldarlas o utilizar conexiones roscadas. Si los trabajos no son realizados de modo esmerado el sistema se puede contaminar con virutas o residuos de soldadura lo que puede provocar problemas durante el funcionamiento del sistema.

## H) UNIDAD DE MANTENIMIENTO

Las distintas funciones para el acondicionamiento del aire a presión, es decir, filtrar, regular y lubricar, pueden llevarse a cabo con elementos individuales. A menudo estas funciones se han unido en una unidad operativa como la que se muestra en la figura 3.9, la unidad de mantenimiento. Dicha unidad es antepuesta a todas las instalaciones neumáticas.

Por lo general la lubricación del 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 debe lubricarse.



Figura 3.9. Unidad de mantenimiento

### a) FILTROS DE AIRE A PRESIÓN

El condensado, las impurezas y demasiada cantidad de aceite pueden ser motivo de desgaste de piezas móviles y 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 inutilizados por efecto de la suciedad.

El abastecimiento de aire a presión de buena calidad en un sistema neumático 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. Los filtros normales tienen poros con dimensiones que oscilan entre 5 y 40 micras.

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. Con un filtro físico pueden retenerse el 99.999% de las partículas con una dimensión superior a 1 micra.

Los filtros tienen que ser sustituidos después de un 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 de aire. En consecuencia se produce una mayor caída de presión en el filtro.

Los intervalos para el cambio de los filtros dependen de la cantidad de aire comprimido, de la cantidad de aire requerido por los elementos neumáticos y del tamaño del filtro. Las operaciones de mantenimiento de los filtros incluyen la sustitución o limpieza del cartucho filtrante y la evacuación del concentrado.

## b) 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 pueden incidir negativamente en las características de conmutación de las válvulas y en la velocidad de los cilindros.

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 presión del 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 primaria), independientemente de las oscilaciones que surjan en el circuito principal. El regulador de presión es instalado detrás del filtro de aire, con el fin de mantener un nivel constante de la presión de servicio.

En la práctica se ha demostrado que el nivel de la presión para satisfacer los requerimientos del sistema debe ser de 600 kPa en la sección de operación y de 300 a 400 kPa en la sección de mando.

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

## c) 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 requieren de lubricación, deberá enriquecerse el aire a presión constantemente con una cantidad suficiente de aceite. La lubricación de aire a presión debería siempre limitarse tan solo a los segmentos del sistema que necesiten 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 si lo usaban, será necesario remover la lubricación original entre tanto haya desaparecido.

El aire a presión deberá contener aceite de lubricación en caso de que se opere con movimientos extremadamente veloces o que se usen cilindros de grandes diámetros.

El funcionamiento es el siguiente: el aire 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.

### 3.4 ACTUADORES NEUMÁTICOS

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.

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

- Movimiento rectilíneo (movimiento lineal)

  - Cilindro de simple efecto

  - Cilindro de doble efecto

- Movimiento giratorio

  - Actuador oscilante

#### A) CILINDRO DE SIMPLE EFECTO

Los cilindros de simple efecto reciben el aire a presión en un solo lado como se muestra en la figura 3.10. Estos cilindros solo 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 son que el cilindro pueda soportar una carga.

En los cilindros de simple efecto con muelle de reposición, la carrera esta definida por la longitud del muelle, en consecuencia, los cilindros de simple efecto tienen una longitud máxima de aproximadamente 80mm.



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

- Detección sin contacto
- Frenado de cargas pesadas
- Uso de cilindros sin vástago en espacios reducidos
- Uso de materiales diferentes, como por ejemplo el plástico
- Recubrimiento protector contra daños ocasionados por el medio ambiente
- Mayor resistencia
- Aplicaciones en la robótica con características especiales, tales como vástago anti-giro o vástagos huecos para uso de ventosas.



Figura 3.11. Cilindro pistón de doble efecto

### C) ACTUADOR OSCILANTE (ROTIC)

En el actuador oscilante la fuerza es transmitida a través de una aleta de giro directamente sobre el eje motriz como se observa en la figura 3.12. El ángulo de giro puede ajustarse sin escalonamiento de  $0^{\circ}$  hasta  $180^{\circ}$  aproximadamente. El par de giro no debería sobrepasar los 10 Nm.

Propiedades de los sistemas oscilantes:

- Pequeños y resistentes
- Disponibles con sensores sin contacto
- Angulo de giro ajustable
- Fácil instalación



Figura 3.12. Actuador Oscilante

### 3.5 VÁLVULAS DE VÍAS

Las válvulas de vías con dispositivos que influyen en el paso o bloqueo y la dirección del flujo del aire. El símbolo de las válvulas informa sobre la cantidad de conexiones, la posición de conmutación y sobre el tipo de accionamiento.

La posición inicial de una válvula equipada con un sistema de reposición 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. Es decir, se trata de la posición a partir de la cual empieza a ejecutarse el programa de mando.

#### A) VÁLVULAS DE 2/2 VÍAS

Las válvulas de 2/2 vías tienen dos conexiones y dos posiciones (posición abierta o posición cerrada).

En la posición cerrada, estas válvulas no evacúan el aire (a diferencia de las válvulas de 3/2 vías que sí lo hacen). Las válvulas de 2/2 vías son accionadas manual o neumáticamente.

#### B) VÁLVULAS DE 3/2 VÍAS

Las válvulas de 3/2 vías permiten activar o desactivar señales. Las válvulas de 3/2 vías tienen tres conexiones y dos posiciones. La tercera conexión permite la evacuación de aire del conducto transmisor de la señal. 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.

### C) VÁLVULAS DE 4/2 VÍAS

Las válvulas de 4/2 vías tienen cuatro conexiones y dos posiciones.

Una válvula de 4/2 vías tiene las mismas funciones que la combinación de dos válvulas de 3/2 vías, una abierta en reposo y otra cerrada en reposo. La válvula tiene una conexión de evacuación de aire con sobreposición de señales y es repuesta a su posición normal mediante un muelle. Estas válvulas son utilizadas para la activación de cilindros de doble efecto, y se usan con la misma finalidad que las válvulas de 5/2 vías.

### D) VÁLVULAS DE 4/3 VÍAS

Las válvulas de 4/3 vías tienen cuatro conexiones y tres posiciones. Estas válvulas, por lo general, solo son fabricadas con accionamiento manual o mediante pedal

### E) VÁLVULAS 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. 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.

Las válvulas neumáticas de impulsos de 5/2 vías tienen capacidad de memoria. La válvula conmuta de conexión por efecto de señales neumáticas alternativas. Al retirarse la señal, la posición se mantiene hasta que la válvula recibe una señal contraria.

## F) VÁLVULAS DE 5/3 VÍAS

Las válvulas de 5/3 vías tienen cinco conexiones y tres posiciones. Con estas válvulas pueden detenerse los cilindros de doble efecto dentro de los márgenes de su carrera, con centro cerrado, el émbolo del cilindro es sujetado bajo presión en posición intermedia, mientras que con centro abierto puede moverse el émbolo sin presión, si en ambas conexiones de mando no se aplica ninguna señal, se mantiene la válvula en posición intermedia por efecto de los muelles de centraje.

### 3.6 DESCRIPCIÓN DE LA NOTACIÓN DE LAS VÁLVULAS

Las válvulas de vías tienen a su cargo el accionamiento de los actuadores y se utilizan básicamente para tres objetivos, controlar la entrada de presión, servir como escapes o desfuegos de aire y canalizar o transmitir la presión hacia los actuadores para que estos puedan funcionar.

Se utiliza una notación para ayudar a representar los diferentes estados o posiciones de las válvulas, así como para la descripción de los tipos de válvulas que se utilizan dependiendo la aplicación que se requiera.

En el análisis de las válvulas cada estado es representado por cuadros.



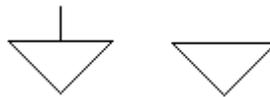
En el interior de estos cuadros se indican una serie de flechas para representar el sentido de los fluidos:



Las vías bloqueadas se indican con T's



Los escapes se representan por triángulos invertidos.



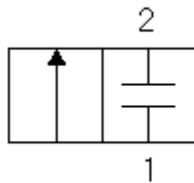
Notas para la identificación de las válvulas.

- 1.- El segundo cuadro de izquierda a derecha es el estado de reposo, y en este estado se encontrarán las conexiones de la válvula.
- 2.- La segunda vía de derecha a izquierda en la parte inferior del estado de reposo de una válvula de vías es la entrada de presión y las vías restantes son los escapes o desfuegos.
- 3.- Las salidas o utilidades o servicios se encuentran en la parte superior del cuadro de reposo.
- 4.- El número de vías se obtiene por la suma aritmética de salidas más escapes o desfuegos más la entrada de presión y se nombra por el número de vías o posiciones.

Nomenclatura de las conexiones de válvulas.

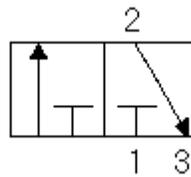
	DIN	ISO	ASA
PRESIÓN	P	1	IN
SERVICIO	A,B	2,4	OUT
ESCAPES	R,S	3,5	EXT, EXH
PILOTAJES	Z,X,Y	10, 12, 14	PIL

Como se puede apreciar en los siguientes símbolos de las válvulas de vías donde se muestran sus utilizaciones, escapes y suministros de presión.



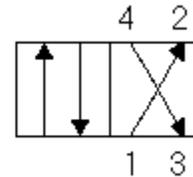
2 vías, 2 posiciones

Válvula 2/2



3 vías, 2 posiciones

Válvula 3/2



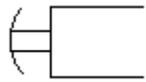
4 vías, 2 posiciones

Válvula 4/2

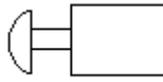
### 3.7 ACCIONAMIENTO DE VÁLVULAS

Las válvulas pueden ser accionadas de distintas formas ya sea directa o indirectamente, al ocurrir esto se cambia la posición de la válvula de su estado de reposo al estado que indique el accionamiento correspondiente.

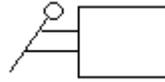
A) ACCIONAMIENTOS MANUALES



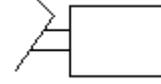
General  
o muscular



Botón pulsador



Palanca



Pedal

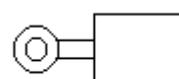
B) ACCIONAMIENTOS MECÁNICOS



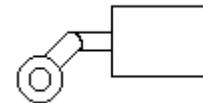
Resorte o muelle  
un lado



Resorte o muelle  
ambos lados

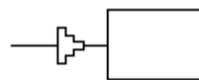


Por rodillo

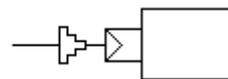


Por rodillo abatible

C) ACCIONAMIENTOS NEUMÁTICOS:



Directo



Indirecto (Autopilotajes)

## a) ACCIONAMIENTO NEUMATICO DIRECTO

Aquí se controla directamente el funcionamiento del actuador por medio de un accionamiento mecánico o manual.

Para este ejemplo en particular que se muestra en la figura 3.13 se utiliza una válvula 3/2 con accionamiento por medio de un botón pulsador y regreso por muelle para controlar un cilindro pistón de simple efecto. Cada cilindro debe tener su propia válvula de control.

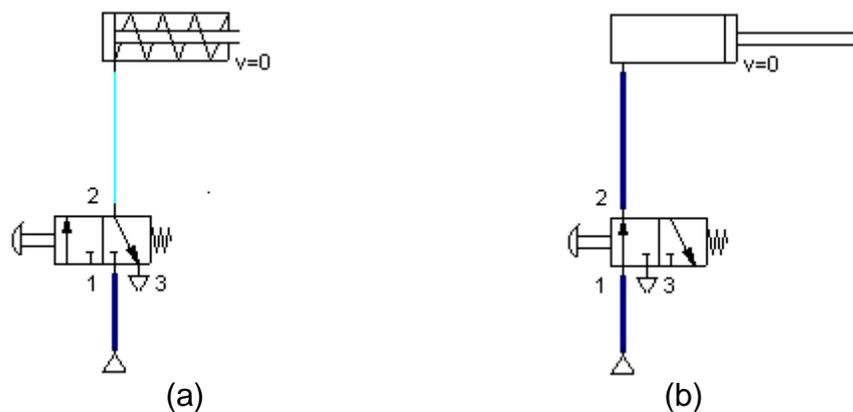


Figura 3.13. (a) Accionamiento neumático directo, (b) Accionamiento de la válvula.

Descripción de operación:

(a).- Al alimentar aire a presión (línea fuerte), el paso está bloqueado ya que en la posición de reposo de la válvula, la terminal 1 se encuentra bloqueada. El pistón no puede ser accionado ya que en su conexión hay baja presión (línea tenue).

(b).- Cuando se oprime el botón manualmente, la válvula cambia de posición permitiendo así el paso de la presión de 1 a 2, ahora el pistón es accionado y el vástago sale hasta terminar su carrera. Al dejar de oprimir el botón, el muelle regresa la válvula a su posición inicial (a) provocando así el bloqueo de la presión y que el pistón regrese a la posición inicial.

## b) ACCIONAMIENTO NEUMATICO INDIRECTO (AUTOPILOTAJES)

Este tipo de accionamiento se utiliza para un mayor caudal de desfogue y para tener la capacidad de realizar accionamientos a distancia. Se utiliza ahora una válvula neumática extra (válvula 5/2), la cuál tiene accionamiento por pilotaje y regreso por muelle, esta se conecta a la válvula del pistón que ahora es de doble efecto como se muestra en los incisos de la figura 3.14.

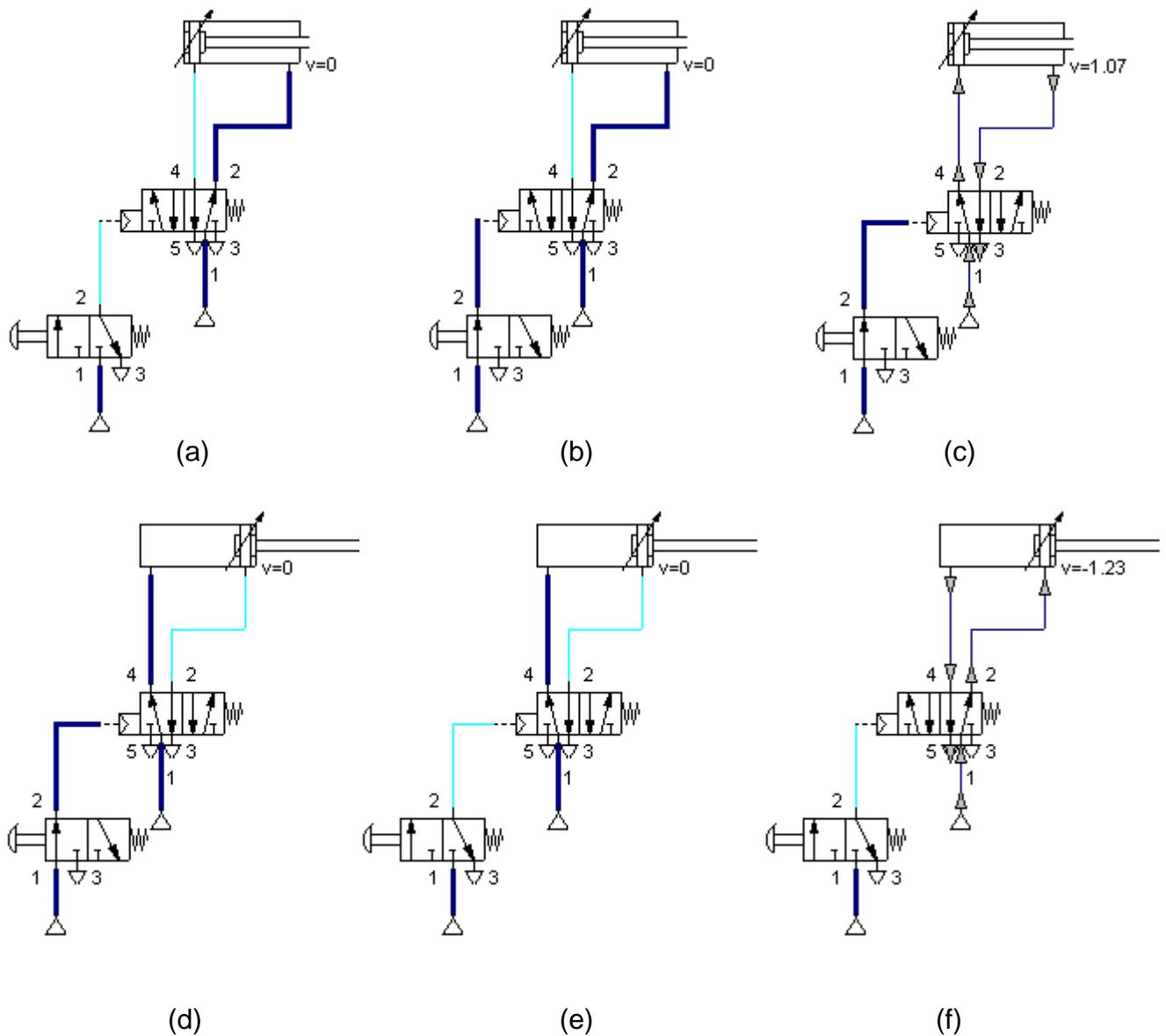


Figura 3.14. Operación del accionamiento neumático indirecto.

### Descripción de operación

a).- Posición inicial con suministro de presión en ambas válvulas.

En la válvula manual la presión esta obstruida y en la válvula pilotada la presión mantiene el vástago dentro del pistón.

b).- Al oprimir el botón de la válvula manual, esta cambia de estado, permitiendo así el paso del aire a presión hacia la terminal 2.

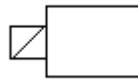
c).- La válvula manual envía la señal al pilotaje 14 y el estado de la válvula pilotada cambia para dar paso a la presión en sentido opuesto.

d).- Al haber presión de 1 a 4, el vástago sale y se mantiene en esta posición hasta que deje de oprimirse el botón de la válvula manual.

e).- Al dejar de oprimir el botón de la válvula manual, esta regresa a su estado inicial bloqueando nuevamente el paso del aire a presión.

f).- Al no haber presión en el pilotaje de la segunda válvula, esta regresa también a su estado inicial, lo que provoca el flujo de aire en sentido opuesto y el regreso del vástago del pistón para volver a las condiciones de inicio (inciso a).

## D) ACCIONAMIENTOS ELÉCTRICOS:



Con bobina a un lado



Con bobina ambos lados

Para este tipo de accionamiento de las válvulas, basta alimentar una señal de 24VCD a la bobina o solenoide de la válvula, esta señal puede provenir de un interruptor, de un sensor o directamente de una salida del PLC. Con esto es posible accionar al pistón sin necesidad de hacerlo con una señal neumática.

Para efectos prácticos de conexión, y para poder diferenciar o separar la etapa eléctrica de la neumática, el solenoide de accionamiento de la válvula se presenta por un símbolo aparte, esta queda claramente etiquetada en ambos circuitos como se aprecia es la figura 3.15.

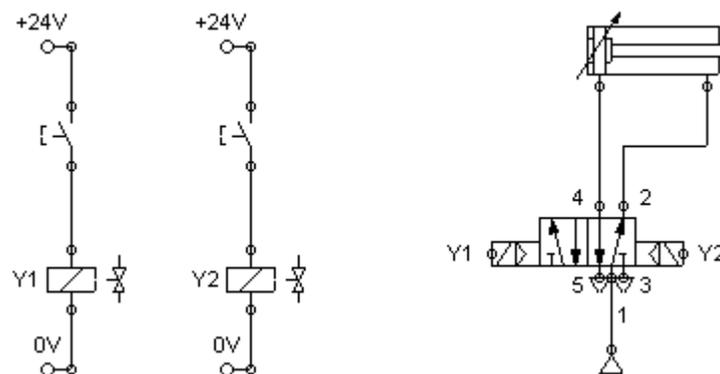


Figura 3.15. Circuito eléctrico y circuito neumático.

# **CAPÍTULO 4**

# **PROYECTO**

## 4.1 INTRODUCCION

Actualmente los controles lógicos programables (PLS's) forman parte de cualquier proceso de automatización de ahí la importancia de su estudio para la aplicación en este proyecto. Un PLC es un sistema mínimo digitalizado capaz de realizar procesamiento de señales en base a un programa establecido por el usuario que contiene puertos de entradas, salidas y transmisión serial de datos debidamente interfazados para su conectividad.

El PLC ofrece muchas ventajas en comparación con el control por relevadores entre las cuales están el menor costo, mejor monitoreo, menor mantenimiento y principalmente mayor flexibilidad para realizar modificaciones y ampliaciones a los sistemas de control.

Algunos de los criterios bajo los cuales se selecciona un PLC para un determinado proceso son la cantidad y tipo de entradas y salidas, la cantidad de operaciones internas que maneje (temporizadores, banderas, registros etc.), los lenguajes de programación que pueda utilizar, el respaldo con refacciones asesoría y servicio entre otras.

El presente proyecto consistirá en el diseño de un circuito electro neumático para la fabricación de una pieza metálica y del uso del controlador lógico programable FEC-20 de FESTO para su control, dado que la neumática es una tecnología cuyo equipo es de un costo muy elevado, el circuito electro neumático de control se implementara como un circuito simulado en el software FLUID-SIM de FESTO. Para esto es necesaria la construcción de la interfase de comunicación entre el puerto de la computadora y el puerto del PLC. Esta se realizara de acuerdo al código de conexión del FEC-20 y se usara un cable de ampliación telefónico con conectores RJ-11.

## 4.2 TIPOS DE CONTACTOS

Se manejan tres tipos de contactos o switches.

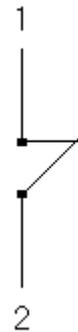
Contacto normalmente abierto

Los contactos normalmente abiertos llevan la numeración 3 y 4



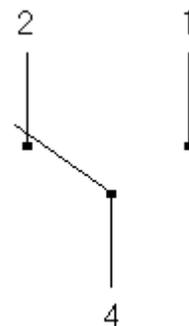
Contacto normalmente cerrado

Los contactos normalmente cerrados llevan la numeración 1 y 2



Contacto de conmutación entre uno y otro.

Estos contactos de conmutación tienen la numeración 2, 1 y 4.



### 4.3 SENSOR DE PROXIMIDAD INDUCTIVO

Los detectores inductivos son “interruptores electrónicos” de característica estática que actúan sin elementos electromecánicos.

Su principio se basa en el funcionamiento del circuito oscilante LC, de alta frecuencia, que deja de oscilar frente a la proximidad de un objeto metálico. Sea cual fuere la naturaleza del metal (hierro, cobre, aluminio, etc.).

Su acción detectora consiste en que el circuito inductivo del oscilador se encuentra abierto por la cabeza sensible del detector, cerrándose sus líneas de fuerza a través de aire. Al acercarle un objeto metálico se predicen variaciones en el circuito oscilante que provocan la amortiguación y el cese de las oscilaciones. Estas variaciones son las que proporcionan en el circuito de salida del detector inductivo la correspondiente señal para controlar a su vez el circuito de utilización.

Estos sensores constan de circuito oscilador acoplado en la propia unidad, con un circuito de disparo y una etapa amplificadora con una señal digital.

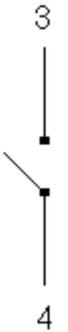
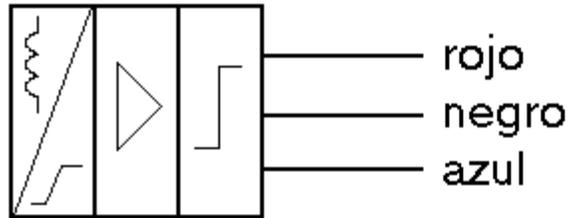
Los sensores vienen en varias versiones según su tipo como se muestra a continuación:

Para conexión, la Terminal roja es voltaje, la negra de tierra y la azul de detección.

Tipo PNP (conexión positiva).

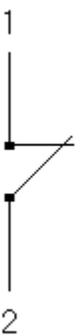
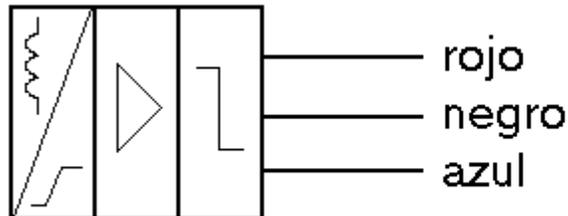
a).- Circuito abierto

Al detectar cierra el circuito.



b).- Circuito cerrado:

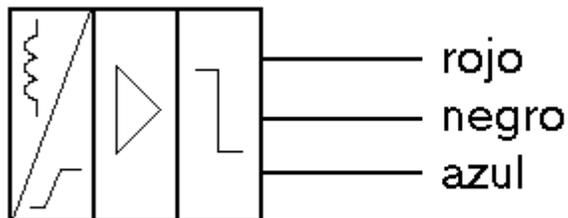
Al detectar abre el circuito.



Tipo NPN (conexión negativa)

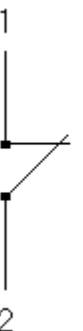
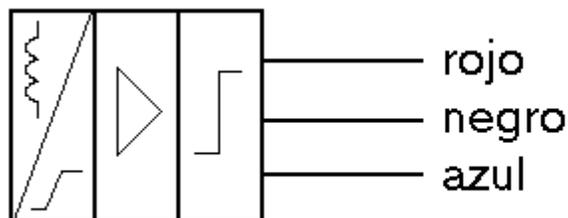
a).- Circuito abierto.

Al detectar cierra el circuito.



b).- Circuito cerrado.

Al detectar abre el circuito.



## A) CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS SENSORES INDUCTIVOS

### 1.- Alcance nominal

Es la distancia a la cual aproximando la placa de medida a la superficie sensible se produce el cambio de estado de la señal de salida.

El alcance varía según la naturaleza y dimensiones del objeto a detectar.

Si se toma como unidad el alcance dado para el hierro se tiene para los metales más comunes una reducción del alcance, cuya magnitud muestra en la tabla 4.1 y se aprecia gráficamente en la figura 4.1.

Hierro	1.00
Cromo	0.85
Latón	0.50
Aluminio	0.35
Cobre	0.35

Tabla 4.1 de alcance de detección.

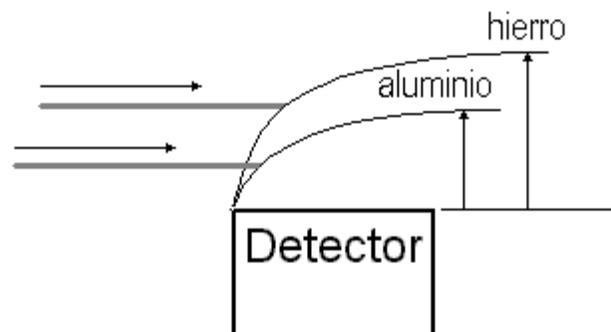


Fig. 4.1 Comparación de alcance de detección.

2.- Tensión de alimentación

Valor de la tensión de alimentación que en todo momento estará comprendido entre el 85% y el 110 % de la tensión nominal.

3.- Ondulación

Es el valor máximo de la componente alterna superpuesta a la tensión de alimentación.

4.- Tensión residual en el sensor

Es la tensión medida en la salida del detector cuando está accionado.

5.- Intensidad máxima de descarga

Es la corriente máxima que el sensor puede soportar en servicio.

6.- Intensidad nominal

Es la corriente permanente absorbida por el sensor alimentado a la tensión nominal.

7.- Intensidad residual

Es la corriente que circula por la carga cuando el sensor está desactivado.

8.- Potencia máxima de conexión

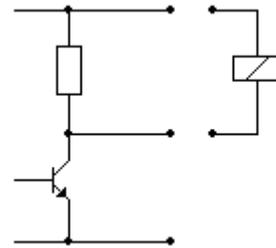
Es la carga máxima inductiva que un detector puede accionar para una determinada tensión de alimentación.

9.- Potencia mínima de conexión

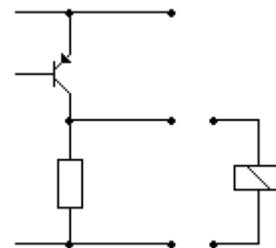
Es la carga mínima que se debe aplicar a un detector para un funcionamiento correcto.

10.- Tipos de salida

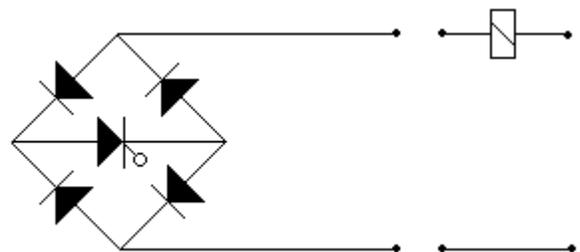
a) Polaridad negativa. Transistor NPN.



b) Polaridad positiva. Transistor PNP



c) Directo a red de corriente alterna. Tiristor



## 11.- Empotrables en metal

- a) Un detector si es empotrable en metal cuando puede estar rodeado de un metal cualquiera hasta el plano de su cara sensible sin que varíen sus características.
- b) Un detector no es empotrable en metal si para mantener sus características requiere una zona libre alrededor de su superficie sensible.

En lo que se refiere a la puesta en servicio y aplicaciones de los sensores, se debe tener cuidado ya que aunque la mayoría de los detectores inductivos como el de la figura 4.2 quedan exentos de este peligro por estar protegidos contra cortocircuitos y errores de conexionado, el error de conexión puede ocasionar la destrucción del detector sin reparación posible.



Figura 4.2. Sensor de proximidad inductivo

#### 4.4 DIAGRAMA ESPACIO-FASE

Este diagrama es utilizado para representar gráficamente el movimiento de los diferentes actuadores al realizar una determinada secuencia.

Por cada actuador se utiliza un renglón, y como solo hay dos opciones de posición para el pistón (vástago dentro-vástago fuera) se utilizan dos estados en el diagrama por pistón.

En las columnas, cada cuadro se numera con los diferentes pasos de la secuencia que van desde uno hasta “n” pasos. Las líneas horizontales denotan que el pistón permanece en la misma posición con la que empezó ese paso, y las líneas diagonales denotan un cambio de posición durante ese paso.

El figura 4.3 muestra una secuencia de dos actuadores y cuatro pasos para la secuencia indicada.

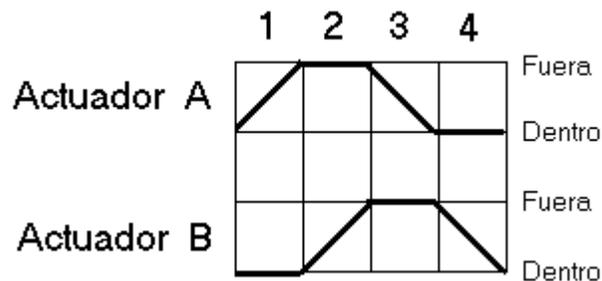


Figura 4.3. Ejemplo de diagrama de movimientos.

En el diagrama de movimientos la posición de los actuadores por regla debe ser la misma para el inicio del primer paso que para el final del último paso.

Para interrogar el estado del circuito se utilizan los sensores de aproximación que se colocan en el cilindro. Si el vástago del cilindro A esta dentro, el sensor SA0 es activado, y si el vástago esta fuera el sensor SA1 es activado. Lo mismo ocurre para el cilindro B pero con los sensores SB0 y SB1. Esto se puede apreciar en la figura 4.4.

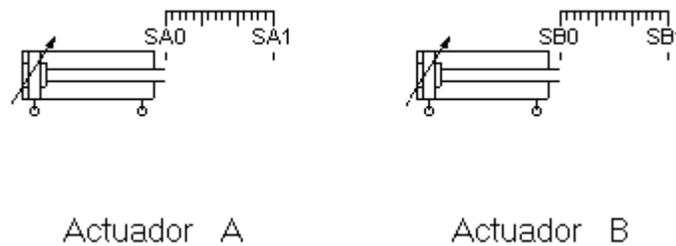


Figura 4.4. Representación de los sensores en Fluid Sim

Al iniciar, ambos vástagos están dentro, durante el paso 1 se envía una señal por medio de un botón pulsador y el vástago del actuador A sale, al terminar su carrera activa el sensor SA1, este a su vez envía una señal para que en el paso 2 salga el vástago del pistón B, al hacer esto se activa el sensor SB1 y este envía la señal para que en el paso 3 el vástago A regrese a su posición original, al regresar activa el sensor SA0 y este envía la señal para que en el paso 4 el vástago B regrese y active el sensor SB0. De esta forma se regresa a las condiciones iniciales y ese sistema esta preparado para recibir una nueva señal del botón e iniciar un nuevo ciclo de la secuencia.

#### 4.5 ECUACION DE MOVIMIENTOS

La ecuación de movimientos se utiliza al igual que el diagrama espacio-fase para describir los pasos de los diferentes actuadores al realizar una determinada secuencia. Aunque ambos contienen la misma información, la ecuación de movimientos resulta ser una notación más compacta.

La ecuación consta de varios términos, en cada uno se va a denotar únicamente los actuadores que cambien de posición seguidos por un signo dependiendo si el vástago entra o sale, un signo positivo denota la salida y un signo negativo denota la entrada del vástago.

A continuación se ejemplifica lo anterior para un sistema de dos actuadores.

E<sub>c</sub>: A+, B+, B-, A-

La ecuación denota que el primer movimiento es el avance del actuador A. seguida del avance del actuador B, el tercer movimiento es el regreso de B y por último el regreso de A. En cada término de la ecuación se puede describir más de un solo movimiento si es que existen movimientos simultáneos en la secuencia.

En esta ecuación se indican también las condiciones necesarias para ejecutar cada uno de los movimientos, que pueden ser la terminación del movimiento anterior o la operación "AND" de varias condiciones.

## 4.6 DESARROLLO DEL PROYECTO

### A) DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN.

En la elaboración de un esquinero metálico de soporte se establece lo siguiente:

El proceso comienza con la pieza de metal en posición inicial la cual es fijada por el actuador de sujeción "C". Una vez inmóvil y en posición se activa el cilindro "D" que tiene la misma orientación pero esta a diferente distancia, este cilindro lleva un taladro que al bajar perfora la pieza, posteriormente regresa el actuador "D" y regresa el actuador "C" liberando a la pieza perforada y con esto termina la primera fase de la secuencia.

En la siguiente fase la pieza es colocada en posición para un segundo perforado por el actuador "A", se fija y el taladro la perfora nuevamente, al regresar los cilindros se libera la pieza y se termina la segunda fase.

La tercer fase inicia cuando el cilindro "B" coloca la pieza en posición para su doblado, se fija la pieza y se activa un actuador que esta orientado de la misma forma pero colocado a una distancia diferente, este actuador tiene en la punta una herramienta en forma de dispositivo doblador "E", el cual efectúa el doblado de la pieza y regresa a su posición inicial, dando pauta para que el actuador de fijación regrese liberando la pieza.

Una vez liberada la pieza regresa el actuador "A" a la posición de inicio y de igual forma regresa el actuador "B".

**B) DESCRIPCION DE ACTUADORES Y VÁLVULAS UTILIZADAS**

- A.- Cilindro simple efecto para posición 2 con válvula monoestable 3/2.
- B.- Cilindro doble efecto para posición. 3 con válvula biestable 5/2.
- C.- Cilindro doble efecto para sujetar pieza con válvula biestable 5/2.
- D.- Cilindro doble efecto para perforado con válvula monoestable 5/2.
- E.- Cilindro doble efecto para doblado con válvula monoestable 5/2.

**C) DESCRIPCION DEL PROCESO DE FABRICACIÓN**

Se preparan las condiciones iniciales y al activar del botón de inicio se requiere lo siguiente:

- 1.- EL ACTUADOR **C** SUJETA LA PIEZA : (C+)
- 2.- SE HACE EL PERFORADO CON EL TALADRO : (D+)
- 3.- EL ACTUADOR REGRESA : (D-)
- 4.- EL ACTUADOR **C** LIBERA LA PIEZA : (C-)
- 5.- EL ACTUADOR **A** AVANZA PARA OBTENER LA POSICION 2 : (A+)
- 6.- EL ACTUADOR **C** SUJETA NUEVAMENTE : (C+)
- 7.- SE HACE EL PERFORADO 2 : (D+)
- 8.- EL ACTUADOR REGRESA : (D-)
- 9.- EL ACTUADOR **C** LIBERA LA PIEZA : (C-)
- 10.- EL ACTUADOR **B** AVANZA PARA OBTENER LA POSICION 3 : (B+)
- 11.- EL ACTUADOR **C** SUJETA LA PIEZA (C+)
- 12.- SE REALIZA EL DOBLADO : (E+)
- 13.- EL ACTUADOR REGRESA : (E-)
- 14.- EL CILINDRO **C** LIBERA LA PIEZA : (C-
- 15.- EL CILINDRO DE POSICION **A** REGRESA (A-)
- 16.- EL CILINDRO DE POSICION **B** REGRESA (B-)

## D) CROQUIS DE SITUACIÓN

El croquis de situación es representado de forma ortogonal en la figuras 4.5 y de manera isométrica en las figuras 4.6, 4.7 y 4.8.

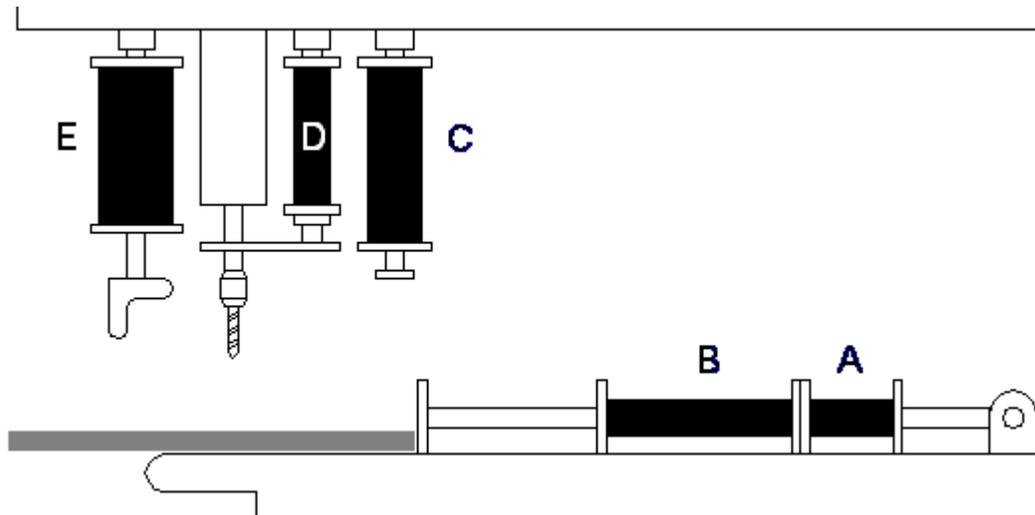


Figura 4.5. Vista ortogonal indicando la ubicación de los actuadores.

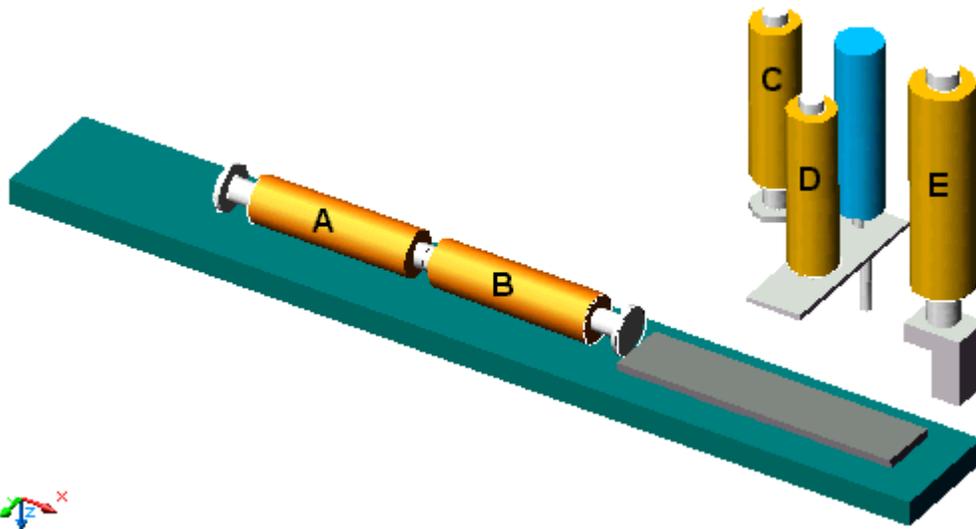


Figura 4.6. Vista isométrica con la ubicación de los actuadores.

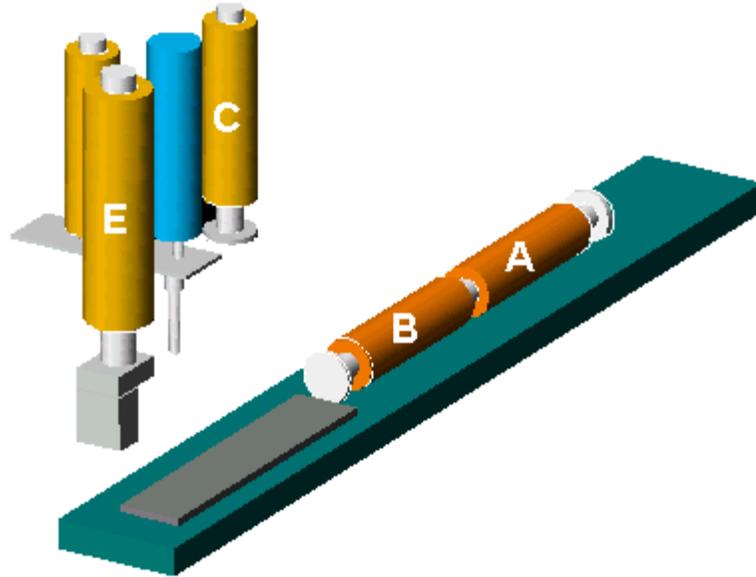


Figura 4.7. Vista isométrica con la ubicación de los actuadores.

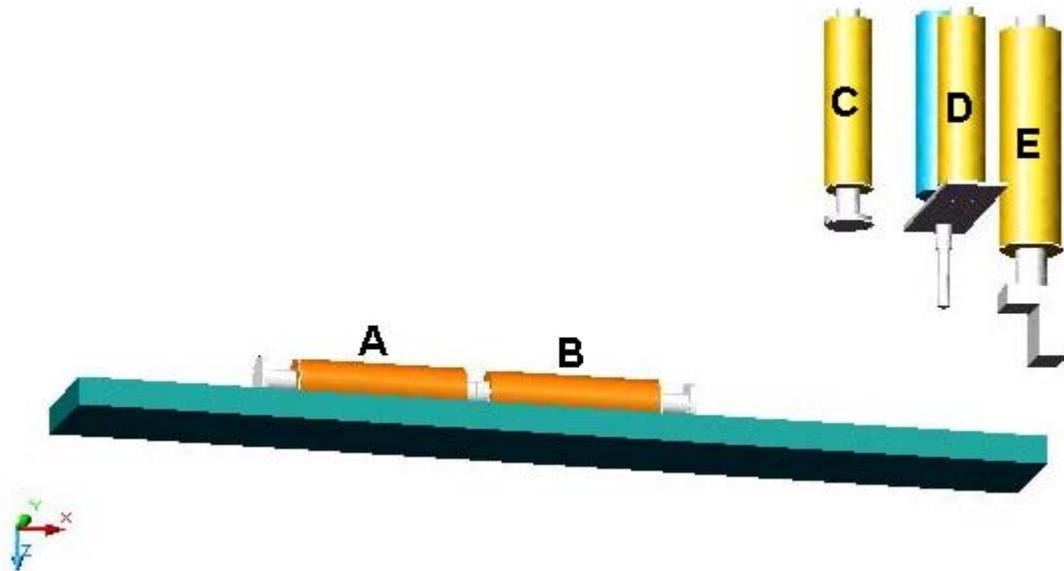


Figura 4.8. Vista isométrica con la ubicación de los actuadores.

**E) ESQUINERO METALICO DE SOPORTE**

La pieza a fabricar es representada de forma ortogonal en la figura 4.9 y de manera isométrica en la figura 4.10.

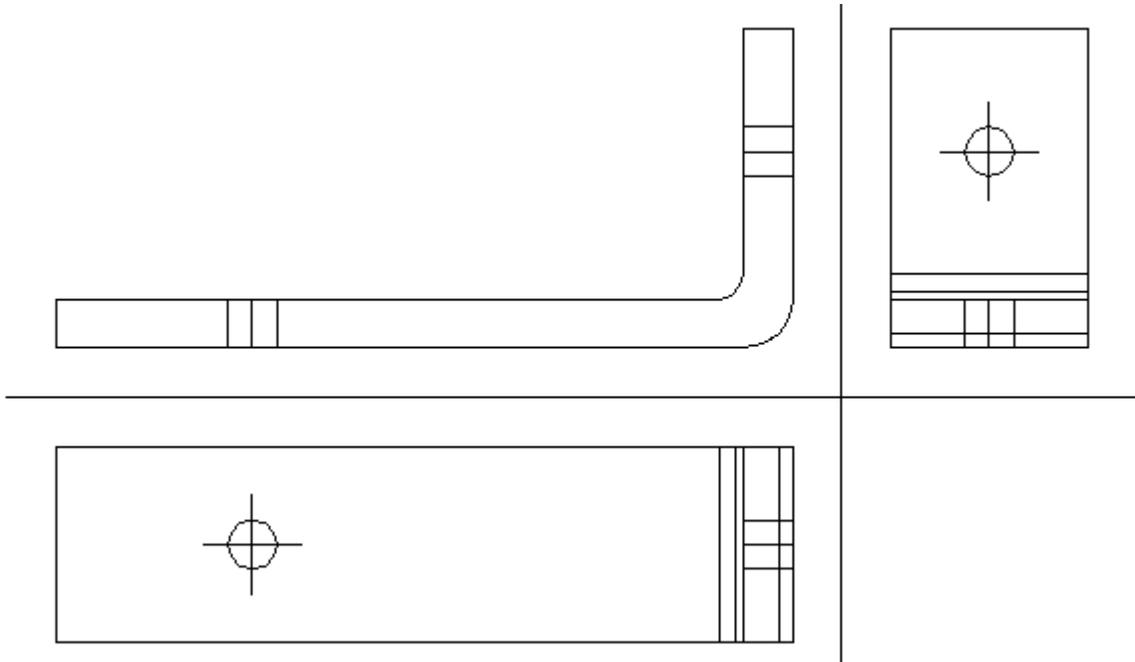


Figura 4.9. Vista ortogonal de la pieza.

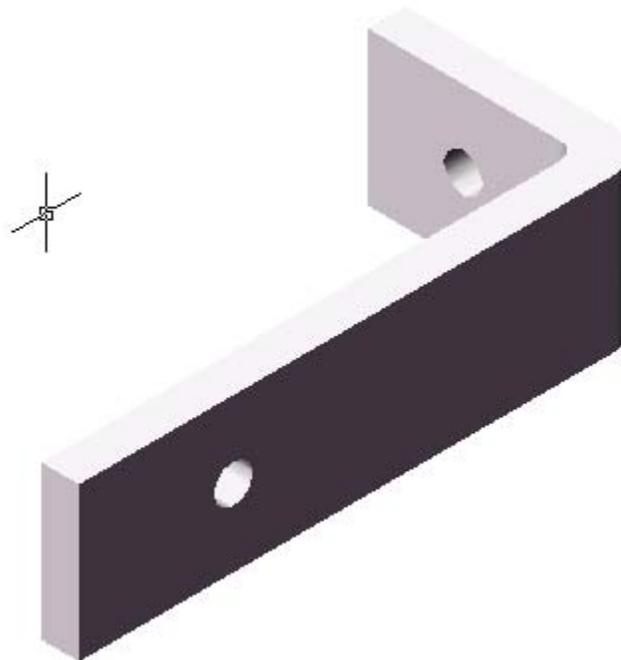


Figura 4.10. Vista isométrica de la pieza.

## F) DIAGRAMA ESPACIO FASE DE LA SECUENCIA DE FABRICACIÓN

En el diagrama de la figura 4.11 se indican los diferentes accionamientos de los actuadores involucrados, se observa que todos los actuadores tienen la misma posición tanto al inicio como al final de la secuencia pero es interesante notar que sucede lo mismo en el punto número 5 donde de igual forma todos los actuadores se encuentran con el vástago retraído.

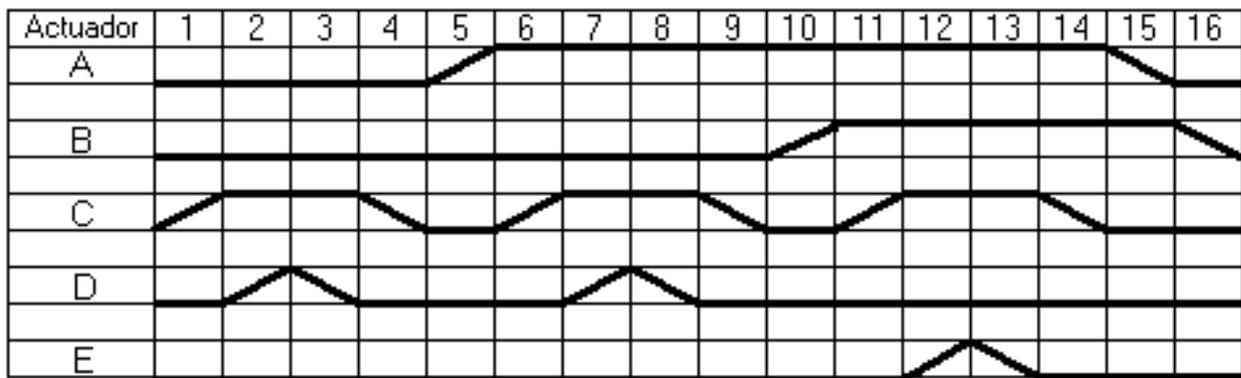


Figura 4.11. Diagrama de movimientos del sistema.

## G) ECUACIÓN DE MOVIMIENTOS DE LA SECUENCIA.

La ecuación de movimientos es otra forma de indicar la secuencia de operación de los actuadores, se indica uno a uno los actuadores que realiza el movimiento y con un signo se indica si el movimiento del vástago es hacia afuera "signo +" o es hacia dentro "signo -"

$$E_c = C+, D+, D-, C-, A+, C+, D+, D-, C-, B+, C+, E+, E-, C-, A-, B-$$

## H) CRITERIOS DE DISEÑO

Diámetro del émbolo del pistón:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}}$$

Donde :

D – Diámetro [cm]

F – Fuerza de trabajo de pistón (Kg<sub>f</sub>)

P – Presión de operación [Kg/cm<sup>2</sup>]

4, π constantes

Con esta fórmula se calcula el diámetro del émbolo una vez que se conoce la fuerza que se desea aplicar con una presión de operación dada.

Nota: Al resultado se le adiciona un 20% para efectos de aplicación, de lo contrario, la fuerza no será suficiente para mover la carga y esta se encontrará solamente en condiciones de reposo (  $\Sigma F = 0$  ), ó estaría en movimiento inminente.

Fuerza de pistón en [N]:

Una vez calculado el diámetro del pistón, podemos utilizar el DIAGRAMA DE PRESION FUERZA (Apéndice D) para conocer la fuerza del pistón en Newtons.

Esto se hace de la siguiente manera:

Dependiendo de un diámetro del émbolo en mm se traza una vertical hasta cortar la diagonal de la presión de operación que en nuestro caso es de 600 KPa, el punto de intersección se proyecta hacia el eje vertical y obtenemos así el valor de la fuerza en Newtons.

Diámetro del vástago del pistón:

Con los datos de la fuerza en Newtons y la carrera del pistón en mm utilizamos el DIAGRAMA DE PANDEO (Apéndice D) para reconocer el diámetro del vástago en, esto se realiza como sigue:

Dependiendo de una fuerza se trazas una vertical, y dependiendo de una carrera del pistón se traza una horizontal, el punto de intersección de ambas nos dice el diámetro en mm.

Nota: Se debe utilizar el valor inmediato superior para el diámetro.

Caudal o gasto:

$$Q = (SNq)$$

Donde:

Q - Caudal o gasto [L/min]

S – Carrera del pistón [cm]

N – Frecuencia de operación [ciclos/min]

Q – Cantidad de aire para llenar la cámara del pistón [L/cm de carrera]

Con esta fórmula se obtiene el gasto de aire comprimido y el dato se aplica para saber el gasto que debe de suministrar el compresor.

El valor de  $q$  se obtiene del DIAGRAMA DE CONSUMO DE AIRE (apéndice D) de la siguiente manera:

Dependiendo un diámetro del émbolo en mm se traza una vertical hasta cortar la diagonal de la presión de operación que estemos utilizando que en este caso es de 600 KPa, el punto de intersección se proyecta hacia el eje vertical y obtenemos así el valor del consumo de aire en L/cm de carrera.

### I) MEMORIA DE CÁLCULO

Para este proyecto de utilizará una presión de operación de 600 KPa en todos los actuadores, la carrera de los pistones de 100 mm y la fuerza de trabajo según su labor en el sistema como se indica en la tabla 4.2.

CILINDRO	LABOR	FZA. [ Kg <sub>f</sub> ]
A	Posición	5
B	Posición	5
C	Fijación	20
D	Perforado	10
E	Doblado	40

Tabla 4.2 Fuerza de actuadores

Cálculo para 4 pistones a 5 Kg<sub>f</sub> ( cilindros A, B, F y G)

$$\text{Diámetro del émbolo} \quad D = \sqrt{\frac{4F}{\pi P}}$$

$$\text{Sustitución de valores} \quad D = \sqrt{\frac{4(5)}{\pi(6)}} = 1.03\text{cm}$$

$$\text{Análisis dimensional } \left| \sqrt{\frac{\frac{\text{Kgf}}{\text{Kg}}}{\text{cm}^2}} \right| = [\text{cm}^2] = [\text{cm}]$$

Adicionando el 20% adicional al resultado  $1.03 \text{ cm} (1.2) = 1.23 \text{ cm}$

Caudal:  $Q = (SNq)$

Para una carrera de 10 cm, una frecuencia de operación de 1 y  $q = 0.011$  (de tablas)

$$Q = (10)(1)(0.011) = 0.11 \text{ [L/min]}$$

### **Cálculo para 1 pistón a 20 KG<sub>f</sub> ( cilindro C)**

Diámetro del émbolo

$$D = \sqrt{\frac{4(20)}{\pi(6)}} = 2.06 \text{ cm} \quad \text{Adicionando el 20\% adicional al valor } 2.06 \text{ cm } (1.2) = 2.47 \text{ cm}$$

Caudal:

Para una carrera de 10 cm, una frecuencia de operación de 1 y  $q = 0.025$  (de tablas)

$$Q = (10)(1)(0.025) = 0.25 \text{ [L/min]}$$

### **Para 1 pistón a 10 Kg<sub>f</sub> (cilindro D)**

Diámetro del émbolo

$$D = \sqrt{\frac{4(10)}{\pi(6)}} = 1.45 \text{ cm} \quad \text{Adicionando el 20\% adicional al valor } 1.45 \text{ cm } (1.2) = 1.74 \text{ cm}$$

Caudal:

Para una carrera de 10 cm, una frecuencia de operación de 1 y  $q = 0.015$  (de tablas)

$$Q = (10)(1)(0.015) = 0.15 \text{ [L/min]}$$

**Para 1 pistón a 40 Kg<sub>f</sub> (cilindro D)**

Diámetro del émbolo

$$D = \sqrt{\frac{4(40)}{\pi(6)}} = 2.91 \text{ cm} \quad \text{Adicionando el 20\% adicional al valor 2.91 cm (1.2) = 3.49cm}$$

Caudal:

Para una carrera de 10 cm, una frecuencia de operación de 1 y q = 0.065 (de tablas)

$$Q = (10)(1)(0.065) = 0.65 \text{ [L/min]}$$

En la tabla 4.3 se muestran los resultados obtenidos.

Cilindro	Fza del pistón [Kg <sub>f</sub> ]	Diámetro émbolo [mm]	Fza del pistón [N]	Diámetro vástago [mm]	Caudal o gasto [L/ciclo]	Accionamientos por secuencia	Consumo total [L/ciclo]
A	5	1.23	49	6	0.11	1	0.11
B	5	1.23	49	6	0.11	1	0.11
C	20	2.47	196	6	0.25	3	0.75
D	10	1.74	98	6	0.15	2	0.30
E	40	3.49	390	6	0.65	1	0.65

Tabla 4.3. Consumo de aire

**Caudal de suministro del compresor**

Sumando los consumos totales de los cilindros obtenemos el valor del caudal por ciclo.

$$0.11+0.11+.075+0.30+0.65+0.11+0.11= 2.14 \text{ [L/ciclo]}$$

Si el sistema tiene una frecuencia de operación de cuatro ciclos por minuto tenemos:

$$2.14 ( 4) = 8.56 \text{ [ L/ min]}$$

Este dato se aplica para saber el gasto que debe de suministrar el compresor que generalmente esta expresado en [m<sup>3</sup>/h], haciendo la conversión tenemos:

$$8.56 \frac{L}{\text{min}} \left( \frac{60 \text{ min}}{1h} \right) \left( \frac{1m^3}{1000L} \right) = 0.51 \frac{m^3}{h}$$

## J) PROGRAMACIÓN DEL PLC

El diagrama en escalera es un lenguaje típico para la programación de PLC`s a continuación se describen sus características más importantes.

Consta de varias líneas horizontales (rungs) para colocar las distintas condiciones que activan una variable colocada al final, esta variable se puede utilizar en otro rung como nueva condición para activar otras variables.

Las condiciones se denotan por contactos que pueden ser normalmente abiertos o normalmente cerrados.

Se manejan distintos operandos que facilitan la creación de programas al brindar operaciones específicas como contadores, temporizadores, registros, banderas que se utilizan como memorias etc.

El direccionamiento de las entradas y salidas se realiza en la parte de Lista de asignación (Allocation List) donde se declaran también las banderas, registros, temporizadores, etc.

La forma para introducir una variable es la siguiente:

Se debe dar un operador absoluto, en operador simbólico, y si se desea un comentario para cada variable.

El operador absoluto es el que denota el tipo de variable que se este insertando lo cual se muestra a continuación.

Para las entradas ( inputs)

I	# de palabra	# de bit
I	0-1	0-7

Para las saldas (outputs)

O	# de palabra	# de bit
O	0-1	0-7

Para las banderas ( flags)

F	# de palabra	# de bit
F	0-9999	0-7

Para los temporizadores ( timer)

T	# de timer
T	1-255

Todas las variables se deben declarar en la lista de asignación de lo contrario no pueden ser utilizadas por el programa. Las palabras que se usan son de 8 bits (0-7).

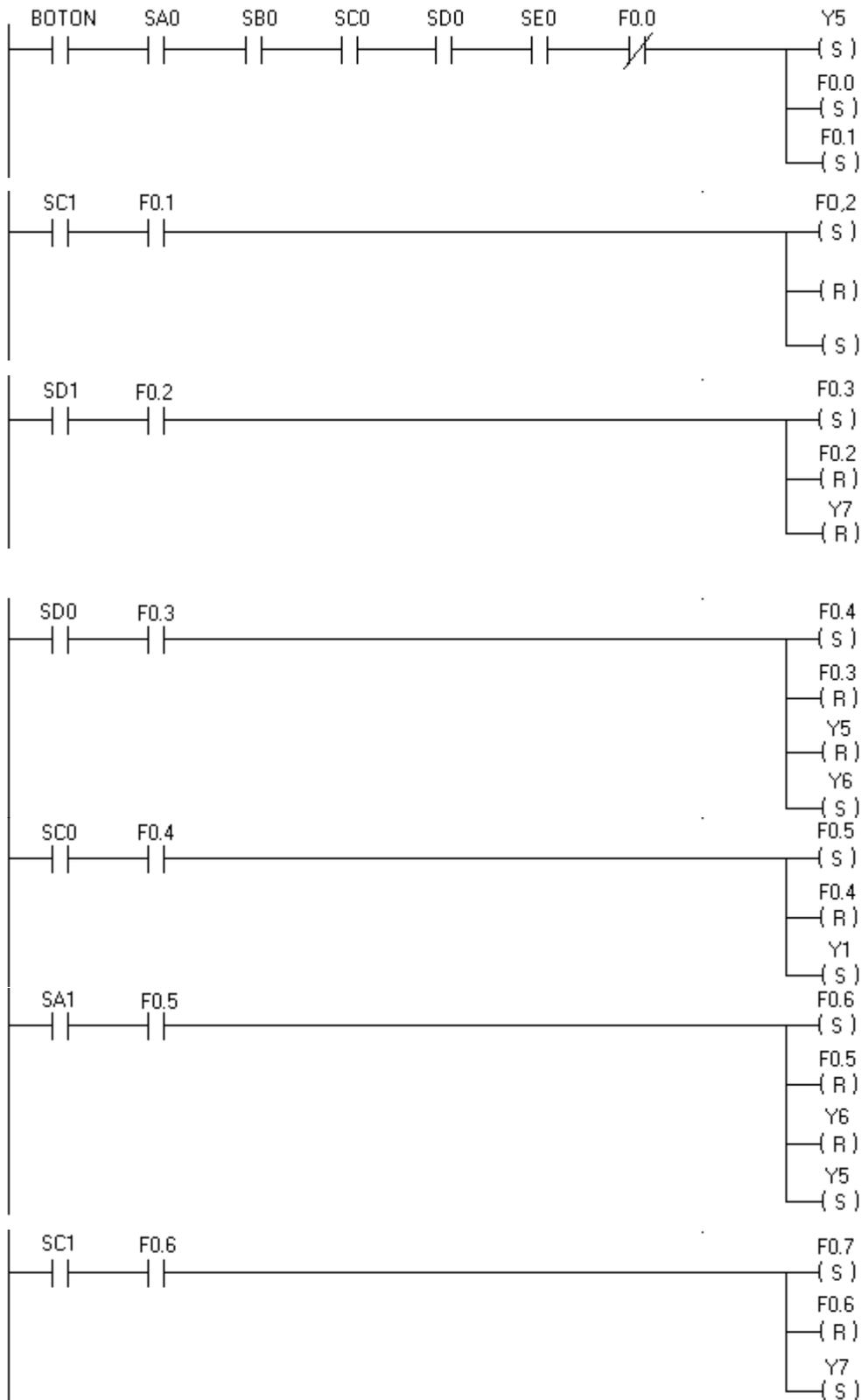
Nota: Para efectos de la simulación con elementos reales se tuvo la necesidad de adaptarse al equipo con el que disponía el laboratorio y a equipo adicional obtenido por el ing, Calva (Actuadores neumáticos y sus correspondientes electroválvulas).

**a) DECLARACIÓN DE VARIABLES EN LA LISTA DE ASIGNACIÓN (ALLOCATION LIST)**

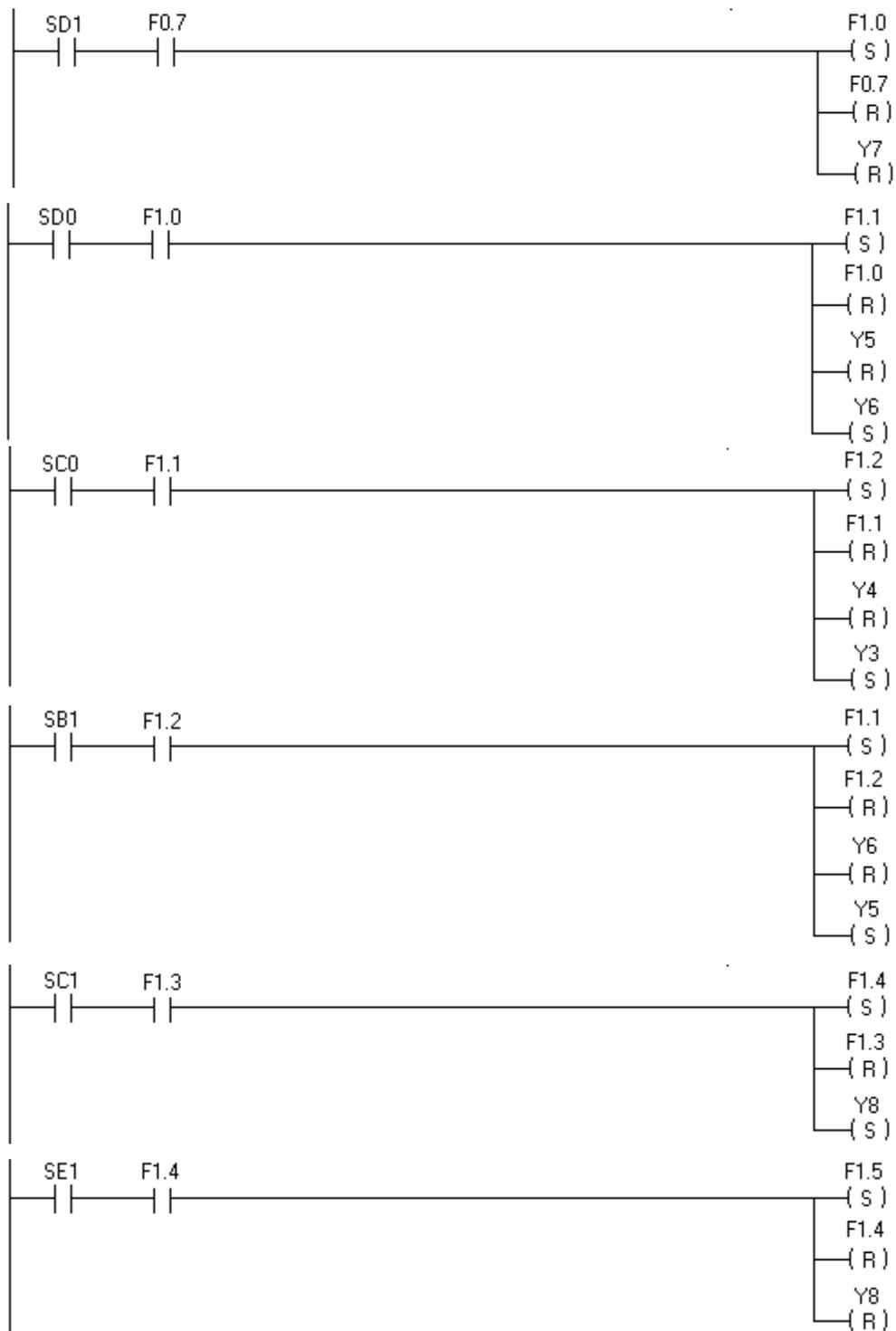
## Festo Software Tool

Operador Absoluto	Operador Simbólico	Comentario
O 0.0	Y 1	Accionamiento cilindro A fuera
O 0.1		
O 0.2	Y 3	Accionamiento cilindro B fuera
O 0.3	Y 4	Accionamiento cilindro B dentro
O 0.4	Y 5	Accionamiento cilindro C fuera
O 0.5	Y 6	Accionamiento cilindro C dentro
O 0.6	Y 7	Accionamiento cilindro D fuera
O 0.7	Y 8	Accionamiento cilindro E fuera
I 0.0	BOTON1	Botón de inicio
I 0.1	SA0	Sensor pistón A dentro
I 0.2	SA1	Sensor pistón A fuera
I 0.3	SB0	Sensor pistón B dentro
I 0.4	SB1	Sensor pistón B fuera
I 0.5	SC0	Sensor pistón C dentro
I 0.6	SC1	Sensor pistón C fuera
I 0.7	SD0	Sensor pistón D dentro
I 1.0	SD1	Sensor pistón D fuera
I 1.1	SE0	Sensor pistón E dentro
I 1.2	SE1	Sensor pistón E fuera
F 0.0	K1	Bandera
F 0.1	K2	Bandera
F 0.2	K3	Bandera
F 0.3	K4	Bandera
F 0.4	K5	Bandera
F 0.5	K6	Bandera
F 0.6	K7	Bandera
F 0.7	K8	Bandera
F 1.0	K9	Bandera
F 1.1	K10	Bandera
F 1.2	K11	Bandera
F 1.3	K12	Bandera
F 1.4	K13	Bandera
F 1.5	K14	Bandera
F 1.6	K15	Bandera
F 1.7	K16	Bandera
F 2.0	K17	Bandera
F 2.1	K18	Bandera
F 2.2	K19	Bandera
F 2.3	K20	Bandera

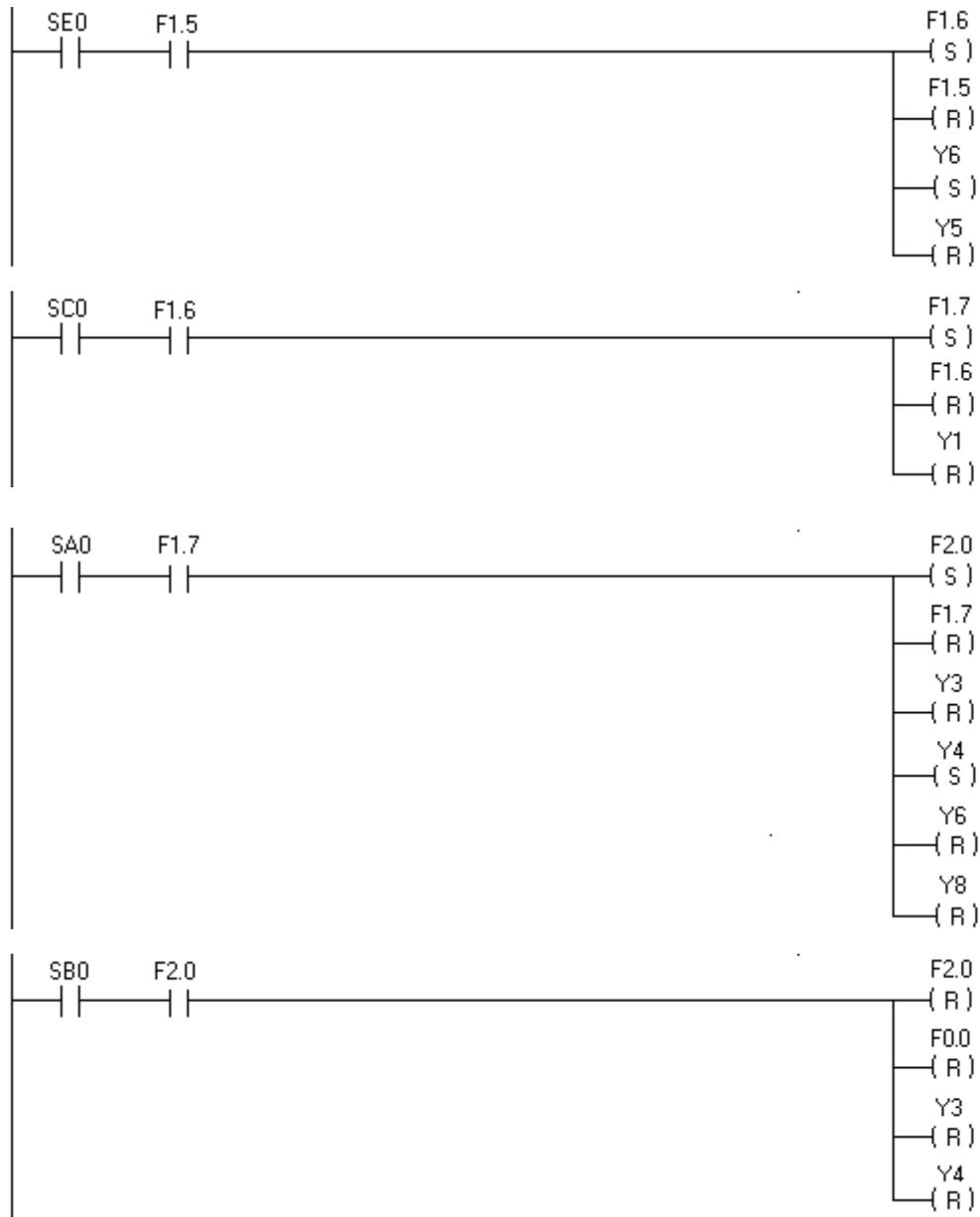
**b) PROGRAMA EN DIAGRAMA DE ESCALERA (LADDER DIAGRAM)**



**PROGRAMA DE CONTROL EN DIAGRAMA DE ESCALERA (CONTINUACIÓN)**



**PROGRAMA DE CONTROL EN DIAGRAMA DE ESCALERA (CONTINUACIÓN)**



#### **4.7 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA UTILIZANDO ELEMENTOS REALES PARA LA COMPROBACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO.**

En el laboratorio se trabajó con el siguiente equipo:

- PC
- Fuente de alimentación de 24VCD
- Módulo de conexión universal
- Placa de señales eléctricas
- PLC
- Compresor de aire
- Válvula de cierre con unidad de filtro y regulador
- Distribuidor de aire
- Actuadores neumáticos
- Electroválvulas
- Sensores inductivos
- Finales de carrera
- Cables y conectores
- Tubo para aire a presión de 6 y 8mm

Se procedió como sigue:

Se encendió el compresor para poder contar con una línea de aire a presión.

Se conecto la línea principal de aire a presión al regulador y de ahí al distribuidor para canalizar el aire a través de mangueras hacia los cilindros neumáticos y sus respectivas electroválvulas.

Se energizó la fuente de voltaje y se alimentaron los sensores, las electroválvulas y el PLC.

Una vez depurado el programa en el software de programación, se procedió a la transferencia del programa hacia el PLC utilizando el cable de comunicación correspondiente.

Una vez cableada la parte de control eléctrico y conectada la parte de accionamientos neumáticos, se abrió la válvula de paso y se checo que los vástago de los actuadores estuvieran en posición de inicio (todos los vástagos retraídos) y que el PLC estuviera recibiendo la señal correctamente de todos los sensores.

Se oprimió el botón de inicio de la secuencia y después de las modificaciones y ajustes pertinentes se logró realizar con éxito toda la secuencia de control, demostrando así la efectividad del programa previamente desarrollado y cargado al PLC.

#### 4.8 SIMULACIÓN DEL CIRCUITO ELECTRONEUMÁTICO VIRTUAL Y SU PROGRAMA CARGADO EN EL CONTROL FEC UTILIZANDO EL SOFTWARE FLUID-SIM

Se deben realizar los siguientes pasos:

- 1.- Crear el programa de control en el software de programación FST.
- 2.- Revisar y compilar el programa en FST (F7) para evitar transferirlo con errores.
- 3.- Transferir el programa (F5) revisando que el PLC se encuentre en la posición de STOP.
- 4.- Cerrar el programa FST.
- 5.- Abrir el programa Fluid-Sim y construir el circuito virtual usando los elementos necesarios y los módulos de entradas y salidas del PLC como se observa en las figuras 4.13, 4.14 y 4.15.
- 6.- Para establecer la comunicación entre el software Fluid-Sim y el programa almacenado en el control FEC, se requiere del software **IPC Data Server** y una aplicación en Visual Basic, la cual permite conectarse desde el puerto serial de la PC (RS-232).
- 7.- Es muy importante configurar los módulos de entradas y salidas del Fluid-Sim para que la comunicación se realice por **DDE** (intercambio dinámico de datos) como se muestra:

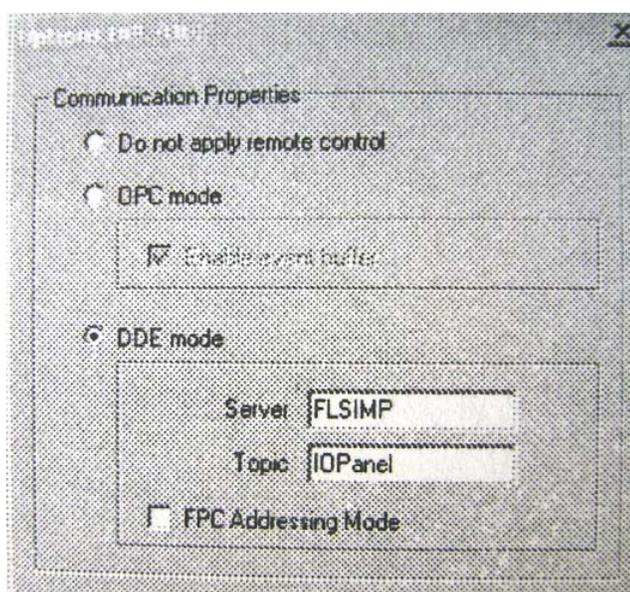


Figura 4.12 Configuración para la comunicación.

La aplicación en Visual Basic fue diseñada para que las entradas virtuales se direccionen en la palabra 100 de banderas (FW100), de tal manera que si desea considerar el puerto 1 de entradas virtuales, en el programa se direccionará como F100.1

Por otro lado, las salidas se direccionarán de manera convencional (O0.0, O0.1, etc)

Las entradas se colocan en el módulo de salidas y las salidas se colocan en el módulo de entradas.

8.- Ejecutar: DDE\_IPCServer\_PP CRS232.exe

9.- Seleccionar la opción RS-232

10.- Ejecutar IPC Data Server.

11.- Dar doble click en la opción RS-232 en la ventana del DDE para lograr el intercambio de datos entre el PLC y la PC (El led "RUN" del PLC empezará a titilar en color verde)

12.- Iniciar la simulación en el Fluid-Sim.

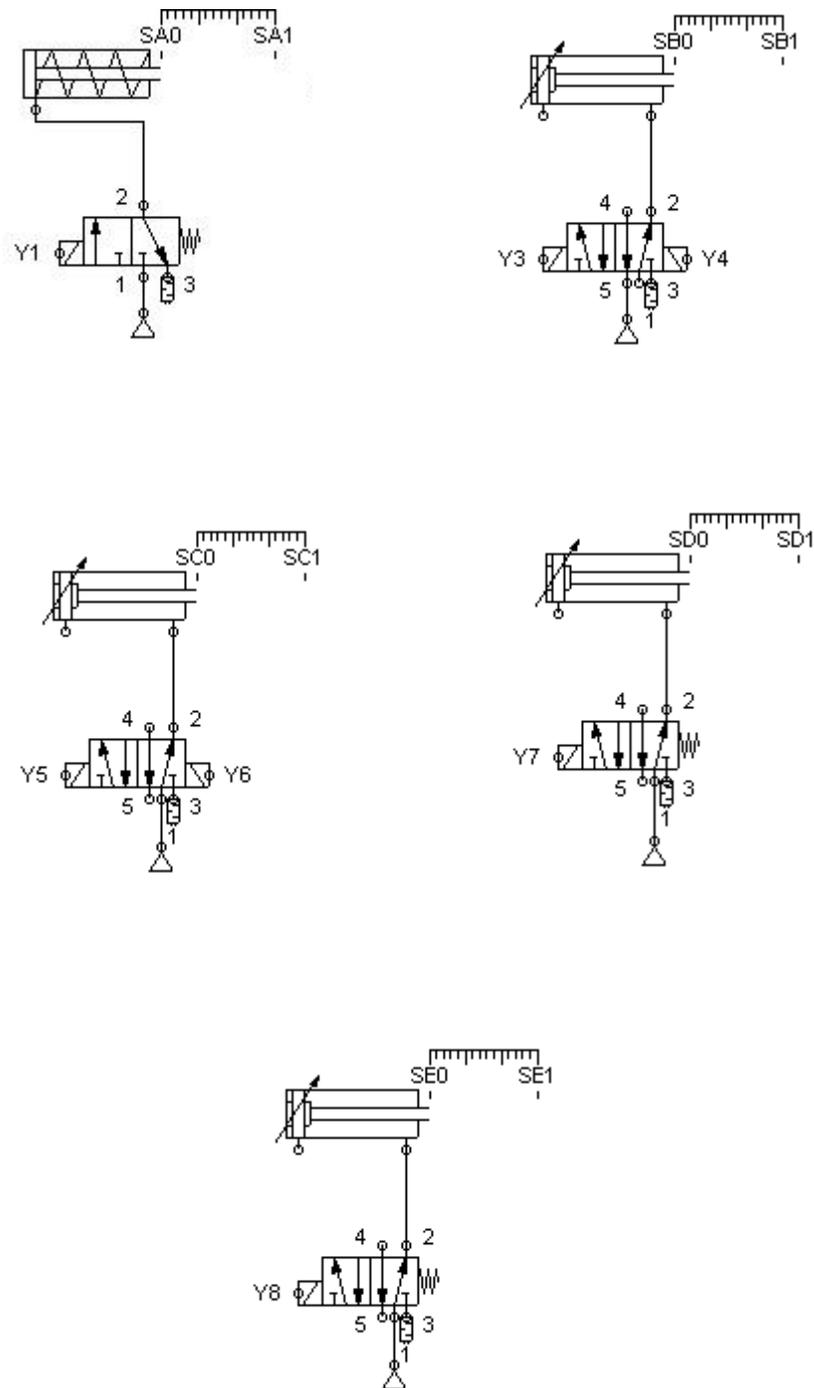


Figura 4.13. Actuadores con electroválvulas.

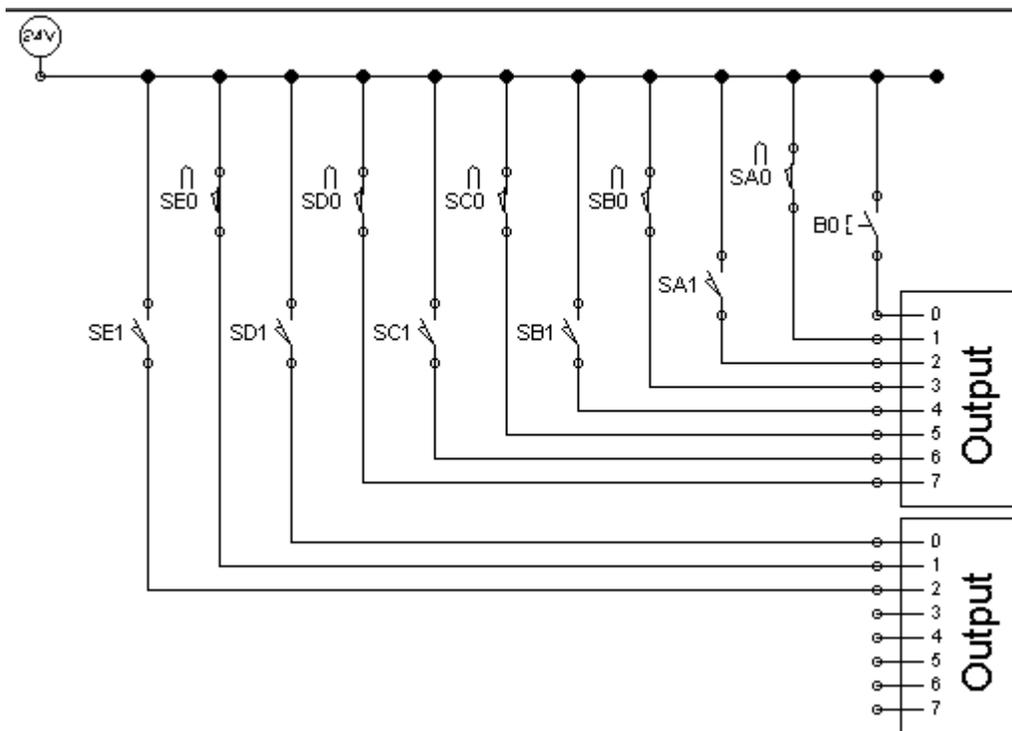


Figura 4.14. Conexiones de sensores a los módulos de salida.

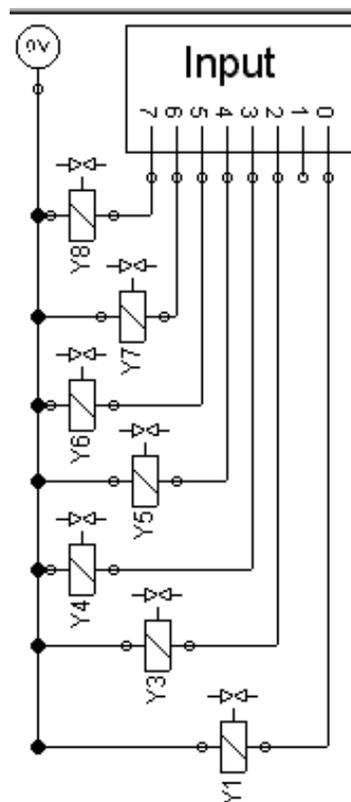


Figura 4.15. Conexión de electroválvulas con el módulo de entrada.

## CONCLUSIONES

Con respecto al presente trabajo se puede concluir que los sistemas de control basados en PLC son más efectivos y seguros comparados con el control por relevadores, esto debido que se nos brinda la oportunidad de realizar diferentes versiones de un mismo programa lo que permite realizar adecuaciones o modificaciones necesarias por bloques o por etapas sin necesidad de modificar el circuito eléctrico de control.

Adicionalmente es posible realizar simulaciones con circuitos virtuales en la PC para garantizar la efectividad de las rutinas de control, aunque la única forma de garantizar esto al 100% es una vez que se prueba el programa en condiciones reales, es decir, con el PLC y elementos a controlar totalmente instalados y cableados.

En el laboratorio se realizaron todas las adecuaciones a las diferentes versiones y etapas de los programas que se realizaron. Estos se probaron de forma real utilizando el equipo electro neumático que existe en el laboratorio usando como se menciona en el trabajo a la neumática como fuente de energía para realizar los movimientos de la secuencia de control.

Se pudo estar en contacto con los diferentes elementos que existen en la mayoría de los sistemas automatizados que existen en la industria, por ejemplo, sensores ópticos, sensores de proximidad inductivos, capacitivos, sensores de contacto, actuadores de diferentes tipos así como sus correspondientes electroválvulas de control.

Debido a la disponibilidad se tuvo la necesidad de adecuar el programa al equipo con el que se contaba en el laboratorio, es decir, al tipo de actuadores y electroválvulas existentes. Esto permitió enfrentarse a una situación real que se presenta constantemente en la industria, ya que en la mayoría de los casos se debe adecuar al material existente debido por ejemplo al costo del equipo o simplemente a la falta de disponibilidad por los excesivos tiempos de entrega con los proveedores de los equipos o refacciones. Esto obliga al ingeniero de mantenimiento a brindar soluciones rápidas pero no por eso menos efectivas.

## APÉNDICE A.- INFORMACIÓN TÉCNICA

### DESCRIPCIÓN DEL PLC

Para este proyecto se utilizó un PLC FEC-20 el cual tiene las características que se indican en la tabla A1.

Marca	FESTO
Familia	IPC FEC
Tipo	FEC-20FST
Núm de parte	177428
Chasis local	1
Chasis remoto ( racks de E/S )	Ninguno
Capacidad de E/S)	12 On/8 relé off
Comunicación	2 interfase serie
Tensión de entrada	24VCD
Lenguajes de programación	Diagrama en escalera ( LD) y texto estructurado ( ST)

Tabla A1. Características del PLC FEC-20.

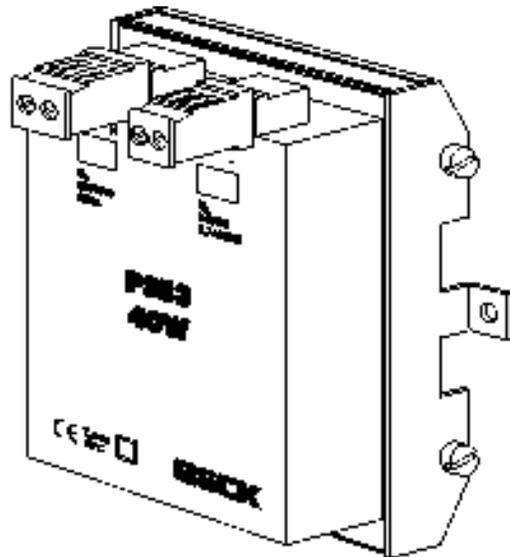
**EQUIPO COMPLEMENTARIO****Unidad de alimentación de la red.**

Convertidor AC/ DC

220 VAC,40W / 24VDC, 1.7 A

Tipo: PS1 PSE3

Número de parte: 160853

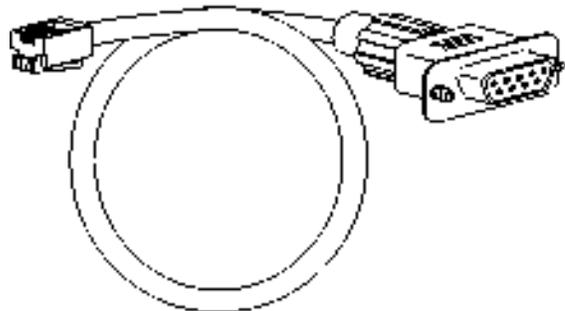
**Cable de interfase**

RJ11/9- SUBD. 150 cm

Permite la conexión del puerto COM del FEC 20 a la PC.

Tipo: FEC KSD2

Número de parte: 177431

**Software para programación**

FST con manual en formato DIN A5 en inglés, para lista de instrucciones y diagrama de contactos, mínimo DOS versión 3.3 o superior.

Tipo: PS1-FST1- EN

Número de parte: 185472

### **Software de simulación**

FluidSim tiene una amplia librería de símbolos neumáticos. Los símbolos según DIN están organizados en grupos relacionados por temas: Actuadores, válvulas terminales de válvulas, preparación del aire, vacío, válvula de caudal y bloqueo, etc.

Los símbolos necesarios pueden seleccionarse de menús de imágenes de forma rápida y sencilla. Pueden arrastrarse desde la ventana de la librería al esquema del circuito.

Las combinaciones de símbolos repetitivas pueden guardarse como macros.

Para cada esquema de circuito pueden crearse listas de materiales: A cada símbolo seleccionado se le pueden asignar datos del catálogo de Festo, tales como el número de artículo, la denominación, descripción, etc.

El generador de la lista de materiales explora todos los símbolos utilizados y las presenta en pantalla o en la impresora, como una lista numerada de materiales.

Componentes del programa:

- Amplia librería de símbolos – símbolos según DIN
- Fácil creación de macros
- Adecuadas funciones de impresión
- Función de zoom, retícula, portapapeles de Windows, etc.
- Ayuda en línea

Requerimientos del sistema: PC con Windows 3.2, 95, 98, NT, 2000 o superior.

## CONFIGURACIÓN DE TERMINALES DEL PLC

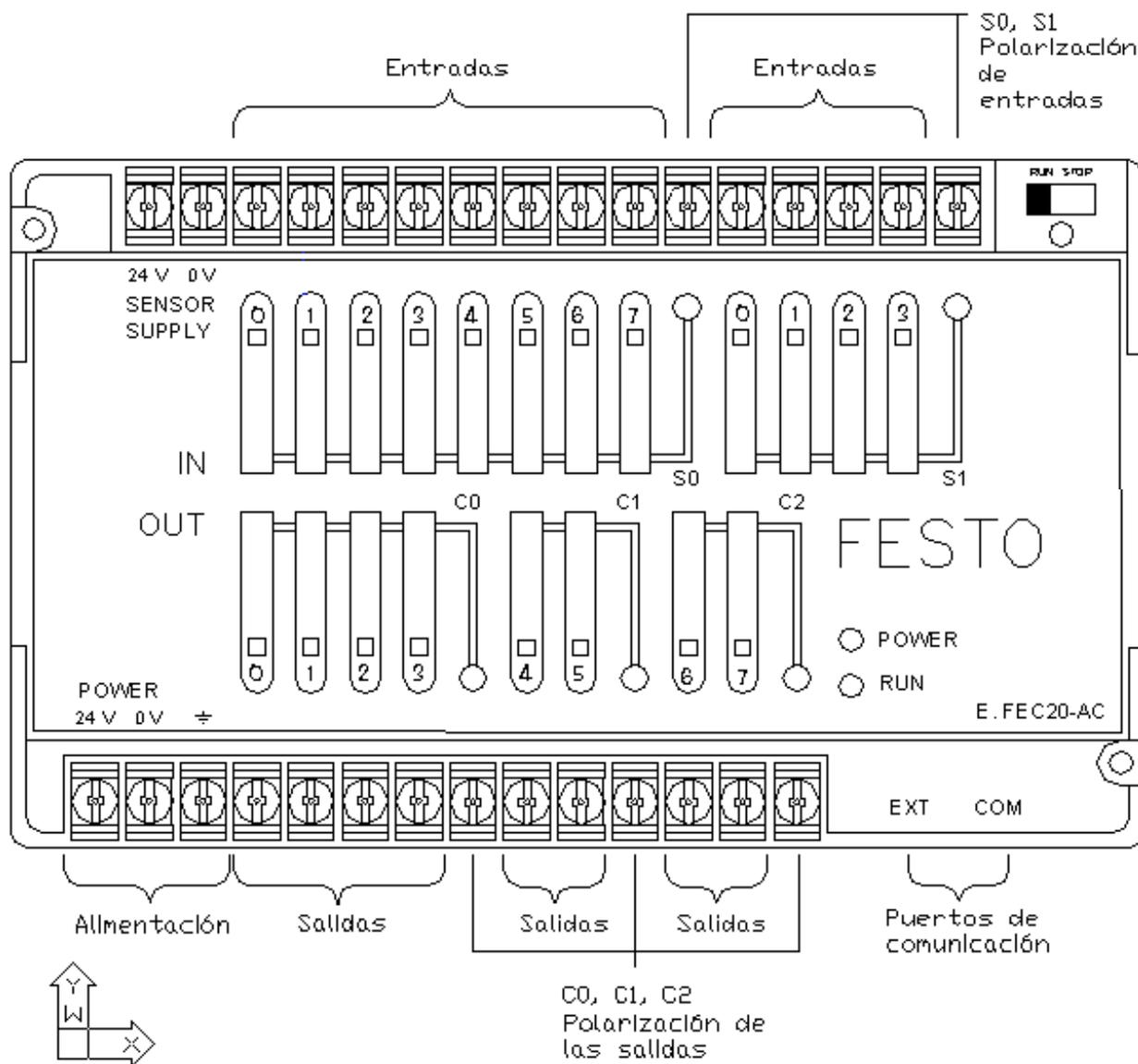


Figura A1. Configuración de terminales PLC FEC-20.

La figura A1 indica que en la sección de entradas, las terminales S0 y S1 tienen dos opciones de conexión, 0VCD para manejar lógica positiva (NPN) con 24VCD en las entradas para 1 lóg. Y 24 VCD para manejar lógica negativa en (PNP) con 0VCD en las entradas para 1 lóg. En la sección de salidas las terminales C, C1 y C2 van conectadas a 24VCD.

## APENDICE B.- EQUIPO UTILIZADO EN EL LABORTORIO



Figura B1. Módulo de conexión universal



Figura B2. Placa de señales eléctricas



Figura B3. PLC FEC 20 FESTO



Figura B4. Válvula de cierre con unidad de filtro y regulador

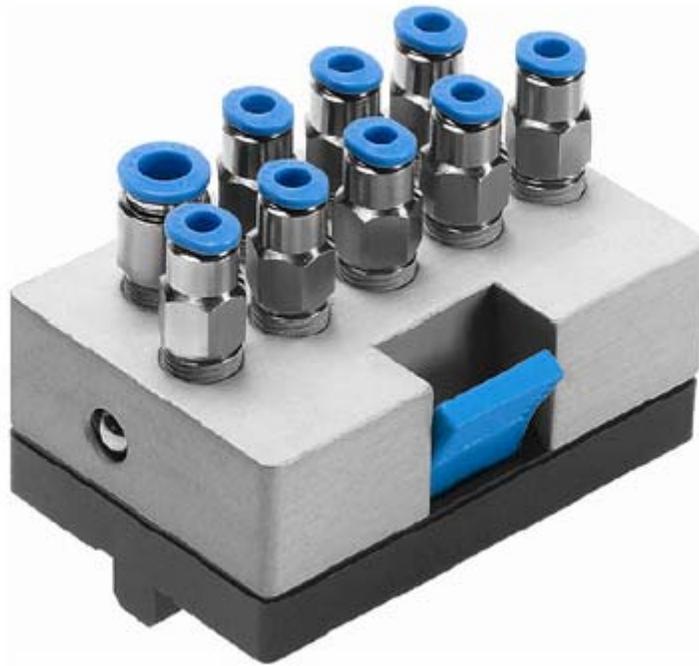


Figura B5. Distribuidor de aire



Figura B6. Actuador neumático

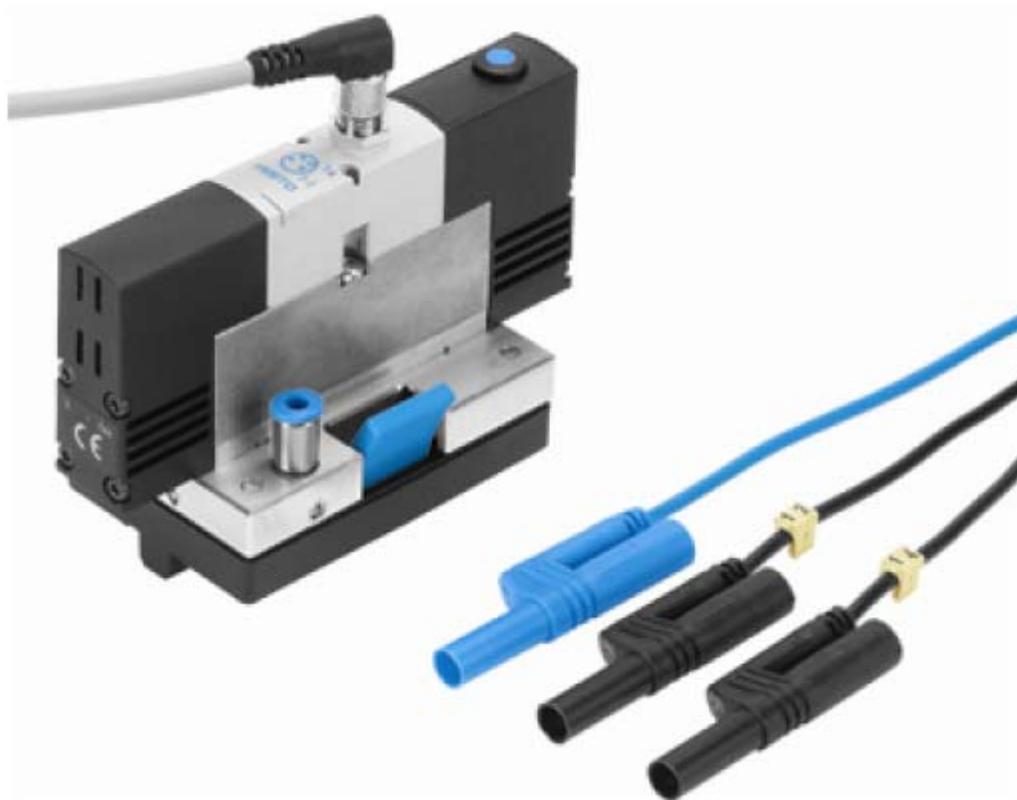


Figura B7. Electroválvula



Figura B8. Sensor de proximidad inductivo



Figura B9. Accionamiento de final de carrera.

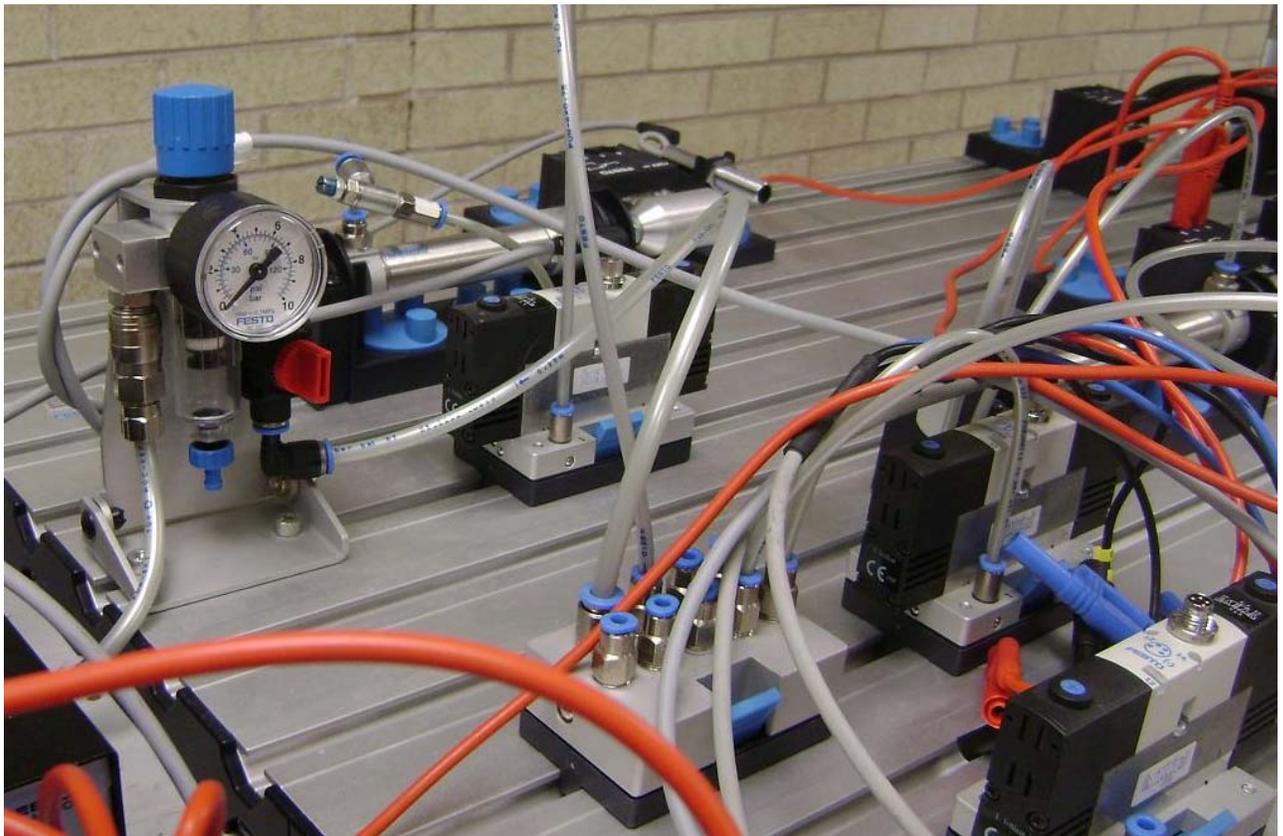


Figura B10. Detalle de regulador, distribuidor de aire y electroválvula.

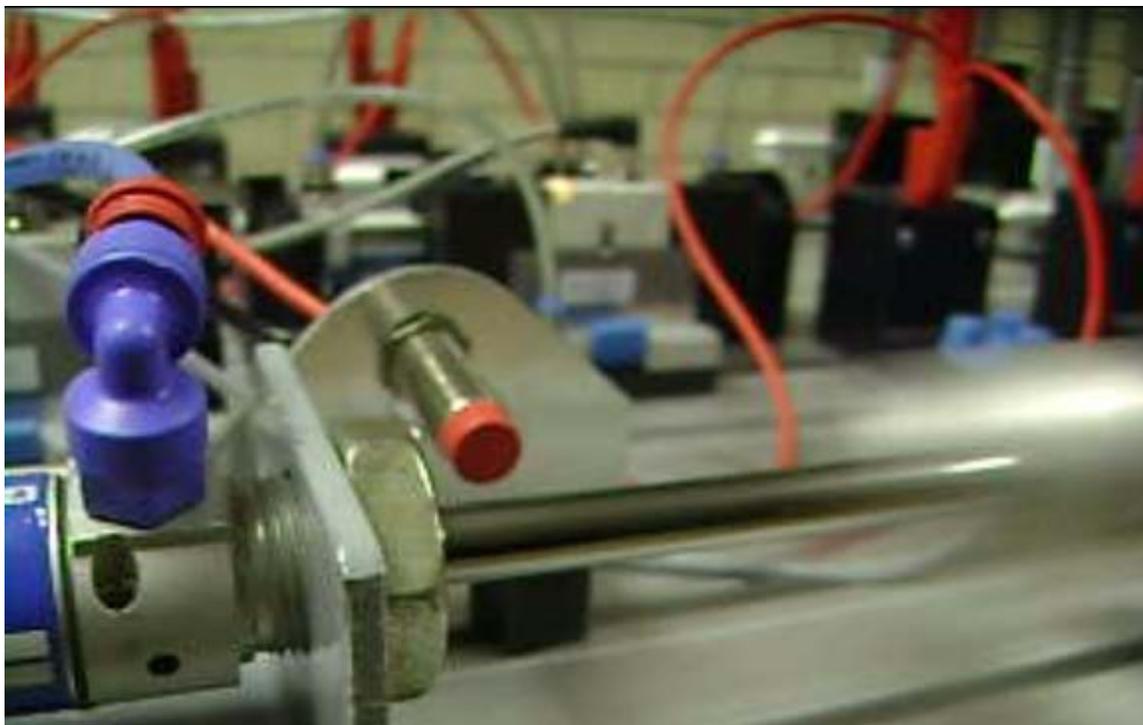


Figura B11. Detalle de sensor de proximidad inductivo y vástago en movimiento.

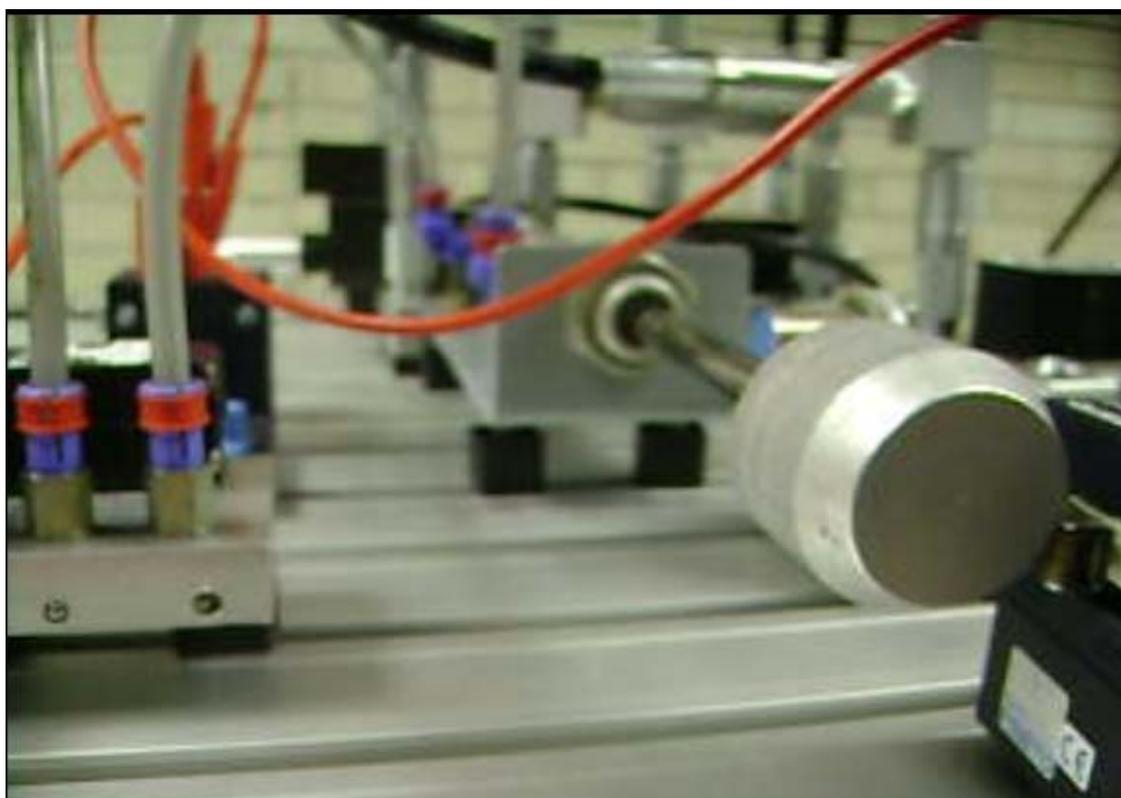


Figura B12. Detalle de electroválvula, vástago y accionamiento de final de carrera.



Figura B13. Detalle de accionamiento de entradas/salidas del PLC.

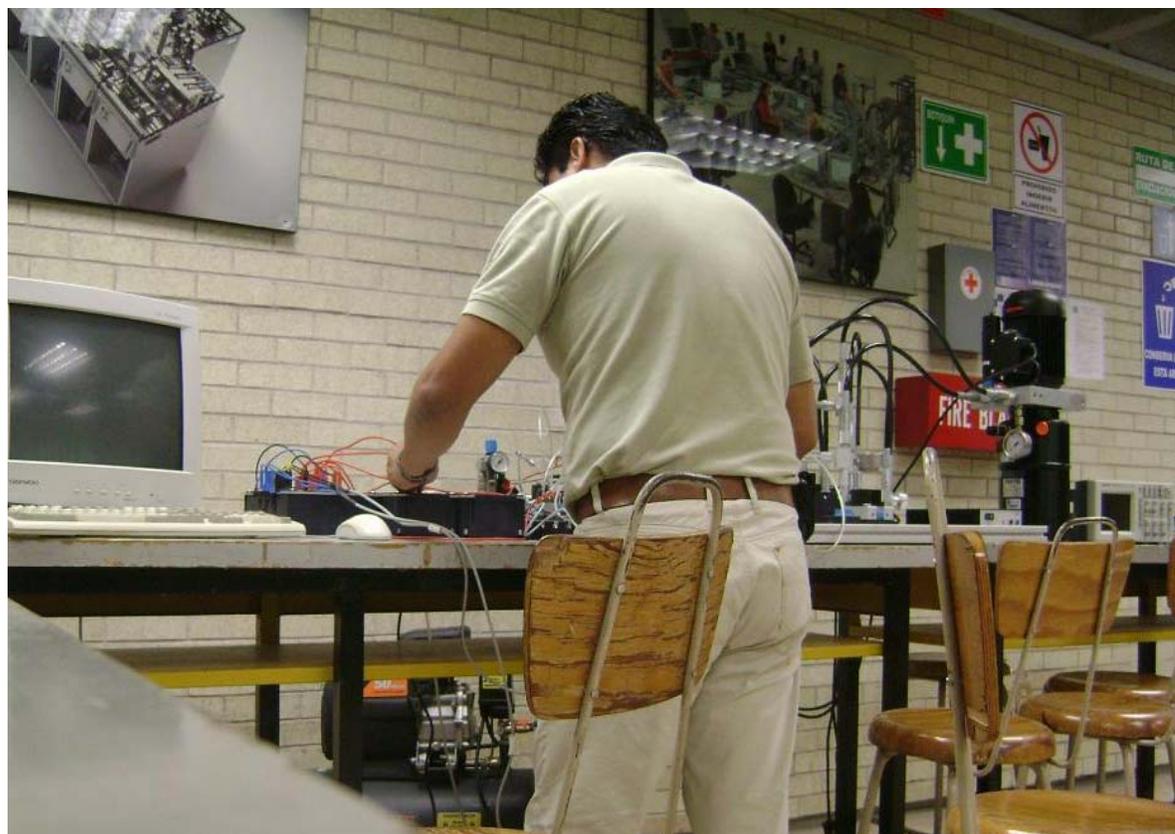


Figura B14. Pruebas y ajustes en el laboratorio.

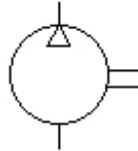
APÉNDICE C.- SIMBOLOGÍA NEUMÁTICA

Descripción

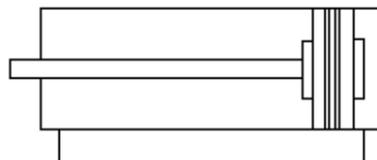
Símbolo

Imagen

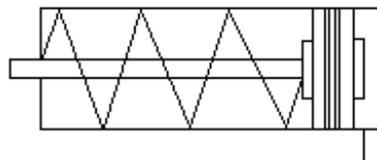
Compresor de aire



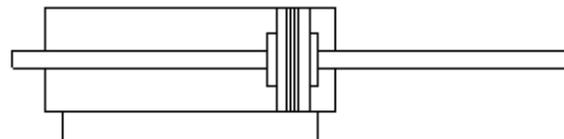
Cilindro pistón de doble efecto



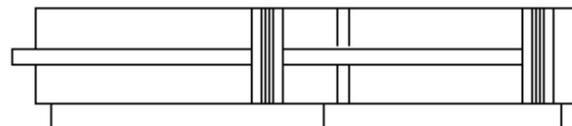
Cilindro pistón simple efecto regreso por muelle



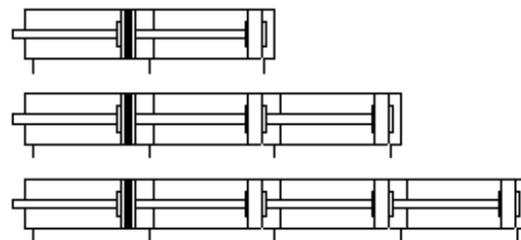
Cilindro pistón doble efecto con doble vástago



Cilindro tandem



Cilindro multiposicional

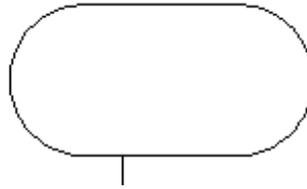


Descripción

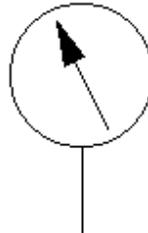
Símbolo

Imagen

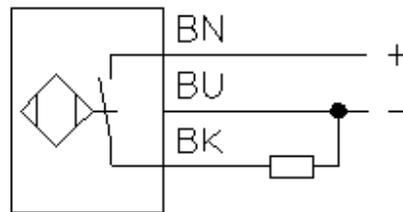
Acumulador



Manómetro



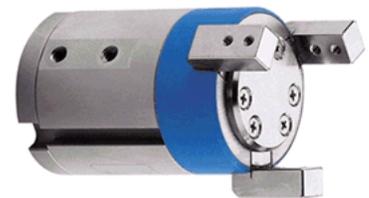
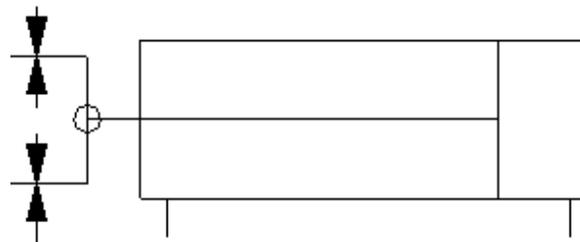
Sensor de proximidad



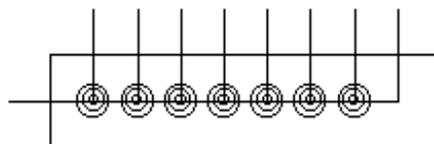
Silenciador



Pinza de tres dedos



Distribuidor

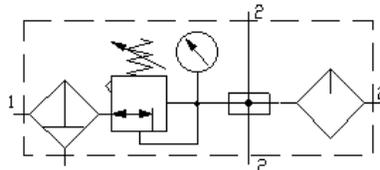


Descripción

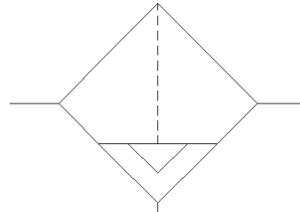
Símbolo

Imagen

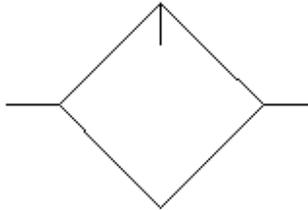
Unidad de mantenimiento



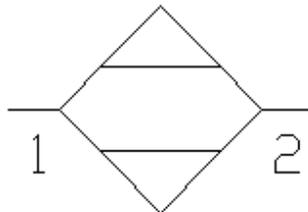
Filtro



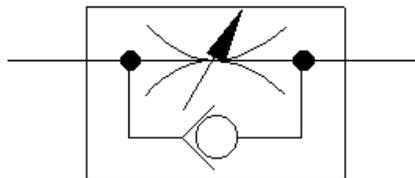
Lubricante



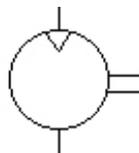
Secador



Válvula reguladora de caudal



Motor

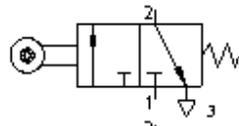


Descripción

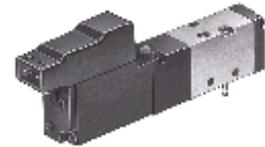
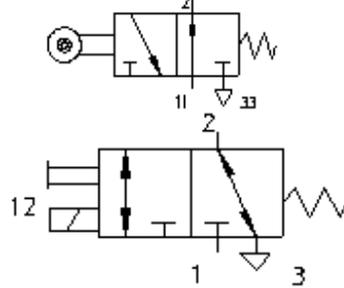
Símbolo

Imagen

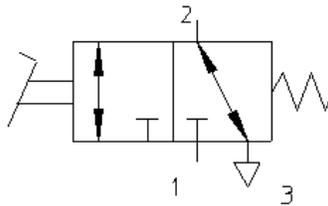
Válvula con rodillo



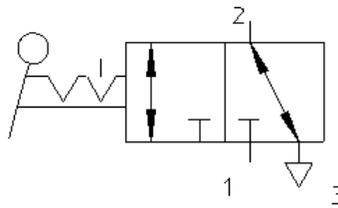
Electroválvula



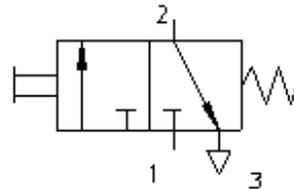
Válvula con pedal



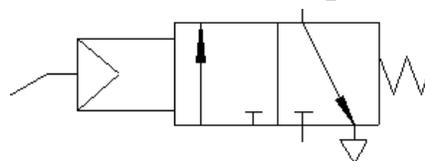
Válvula con palanca



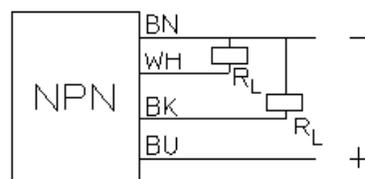
Válvula con botón pulsador



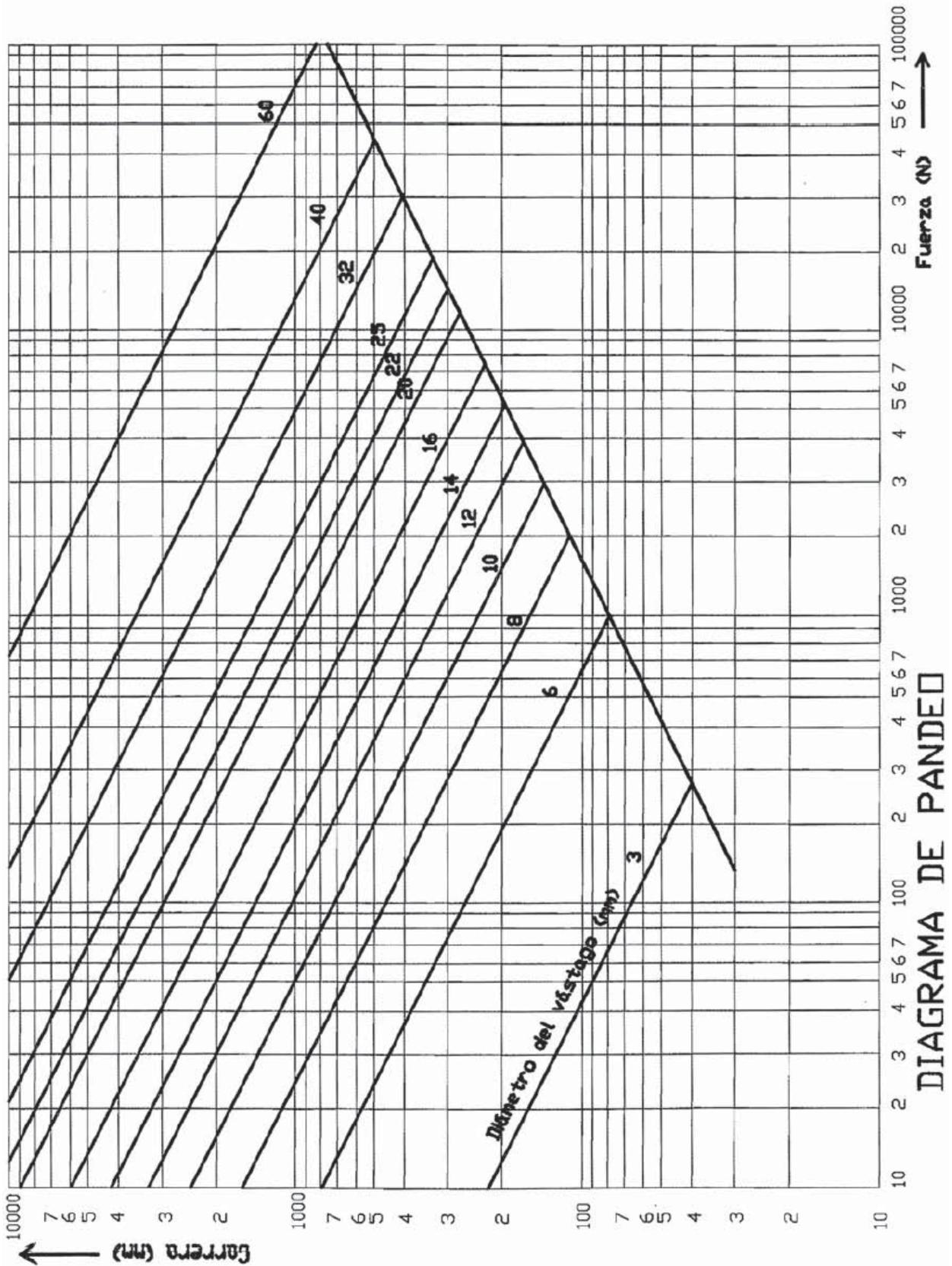
Válvula con control por radio

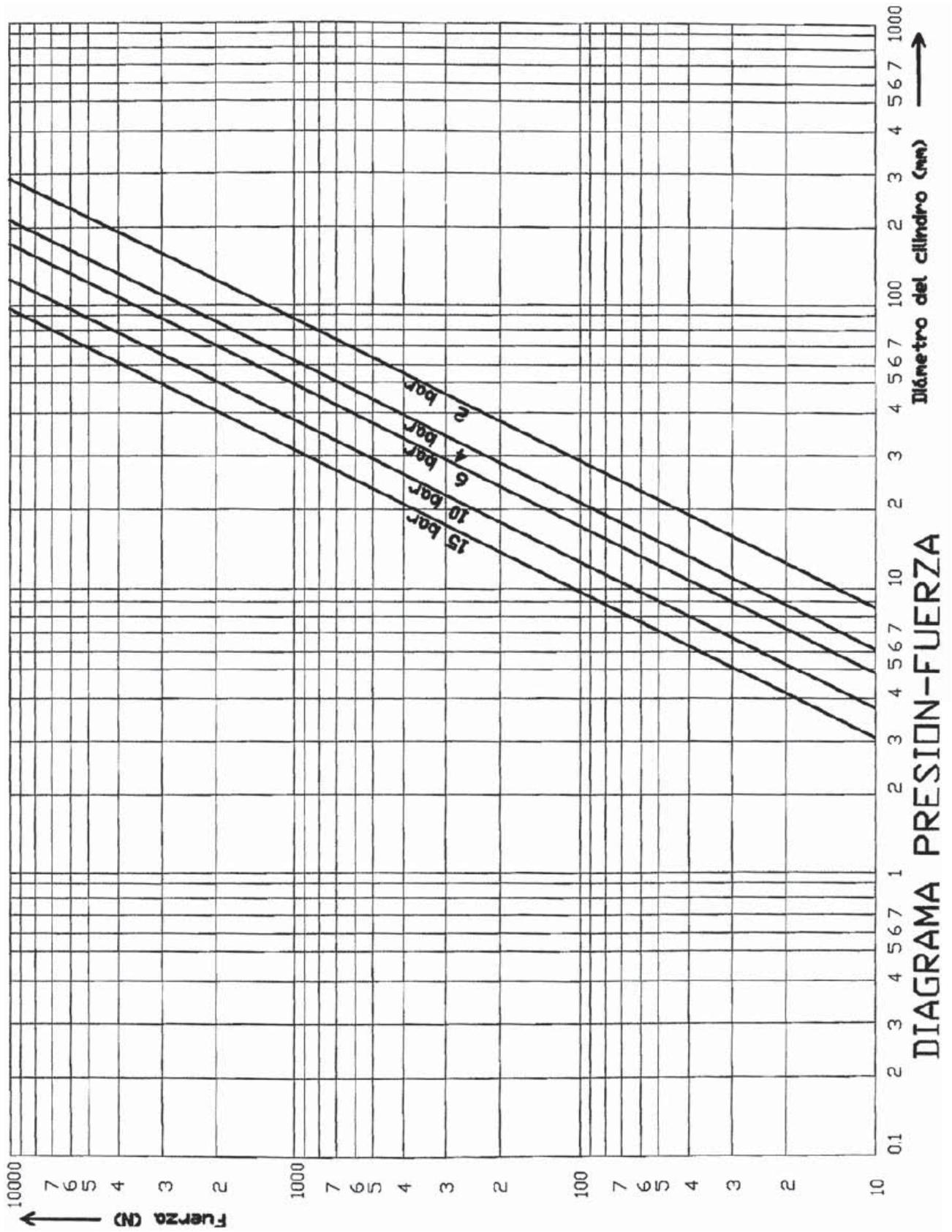


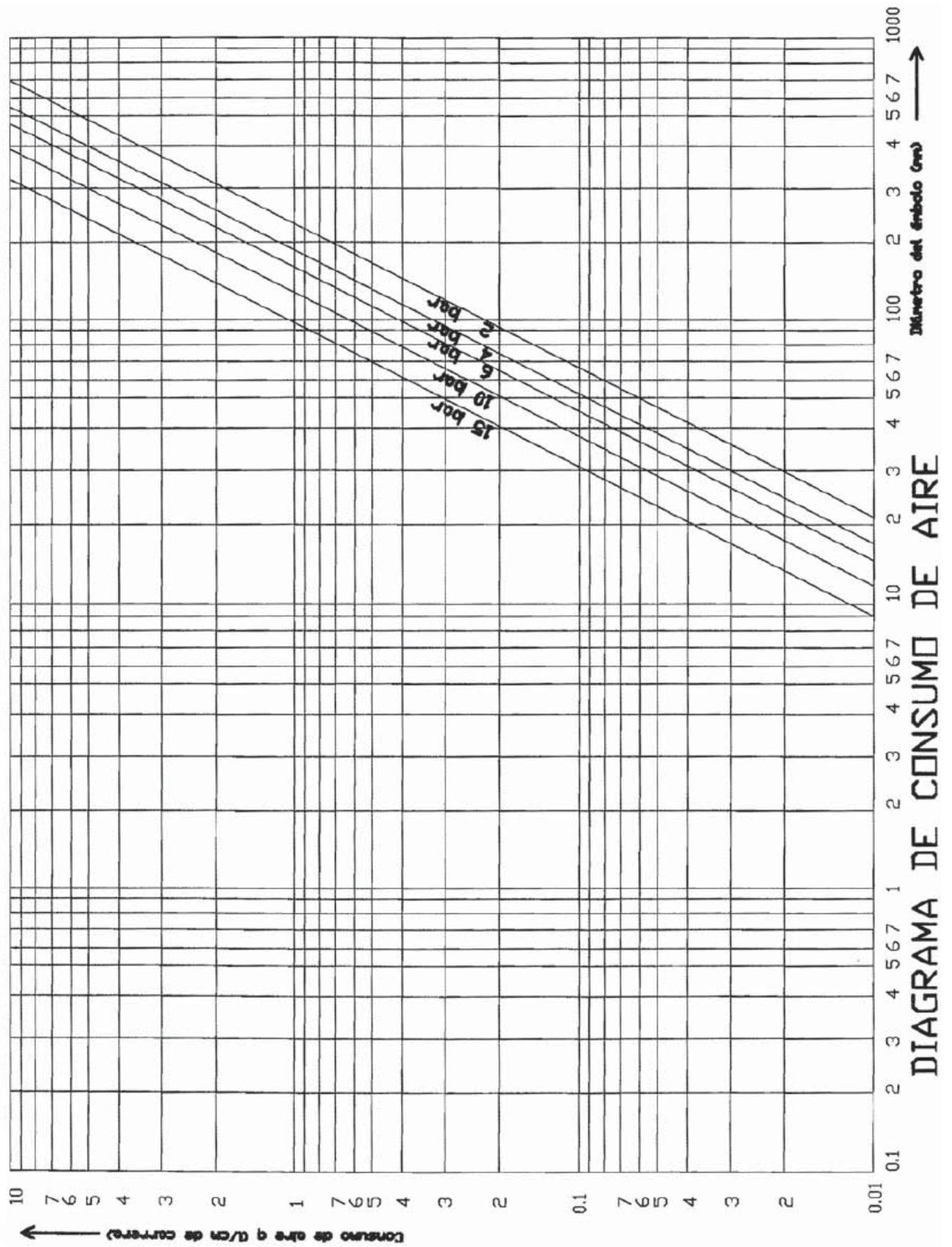
Presostáto



APÉNDICE D.- DIAGRAMAS LOGARITMICOS







## GLOSARIO

### **Algebra de Boole**

Parte del álgebra donde una variable solo puede adoptar en valor de cero o uno.

### **Automatización**

Sistema que transfiere tareas de producción realizadas habitualmente por humanos a elementos tecnológicos para realizar la función sin intervención humana.

### **Bit**

Forma derivada de "Binary Digit / Dígito binario" carácter bivalente (binario), la más pequeña unidad de información.

### **Bus**

Sistema que transfiere datos entre un ordenador o entre ordenadores.

### **Bus de control**

Circuito de bus en un sistema de bus, que transmite exclusivamente instrucciones de control.

### **Bus de datos**

Bus de un PLC, con el que se transmite información (señales y datos).

### **Bus de direcciones**

Haz de conductores en un sistema, que transmite exclusivamente información de direcciones, es decir, direcciones de entradas y salidas del PLC, flags o dispositivos periféricos.

### **Byte**

Unidad de datos consistente en 8 bits

### **CMOS**

Circuito lógico muy efectivo que se establece al construir un MOSFET de canal n y un MOSFET de canal p sobre el mismo sustrato. Léase MOSFET complementario.

### **Diagrama de contactos (LD)**

Un lenguaje de programación estandarizado en IEC 1131-3, derivado de la representación del esquema de un circuito.

### **Diodo zener**

Tipo especial de diodo que requiere ser polarizado a la inversa para su funcionamiento característico el cual se usa como elemento de protección de picos de voltaje o como regulador de voltaje.

**EEPROM**

Desarrollo avanzado de las EPROMs. Se utiliza un impulso eléctrico para borrar el contenido de la memoria, en lugar de rayos ultravioleta. Subsecuentemente, puede escribirse nueva información en la memoria.

**Encoders**

Dispositivo electromecánico utilizado para convertir la posición angular de un eje a un código digital lo que lo convierte en una clase de transductor.

**EPROM**

Memoria de solo lectura, cuyo contenido se borra con luz UV, y que puede reescribirse con nueva información.

**Estanqueidad**

Característica de que no deja pasar el agua.

**FET**

Transistor de efecto de campo. Dispositivo de tres terminales que se emplea en una amplia variedad de aplicaciones cuya característica principal es que es un dispositivo controlado por voltaje

**Firmware**

Software que se halla permanentemente instalado en el hardware del ordenador y que son suministrados por el fabricante.

**Hardware**

Se refiere a las partes físicas del dispositivo en cuestión, es decir, circuitos impresos, circuitos integrados, el cableado, el chasis, etc.

**Memoria de solo lectura**

ROM Read Only Memory: Memoria cuyo contenido solo puede ser leído

**Microprocesador**

Elemento que consta de una unidad aritmética lógica, una unidad de control y unidades de memoria y realiza instrucciones de manera secuencial y cíclica.

**MOSFET**

Transistor de efecto de campo de metal oxido semiconductor.

Tipo de transistor de los FET que puede ser incremental o decremental.

**Optoacoplador**

Dispositivo que se compone de un paquete formado por un diodo emisor de luz infrarroja (LED) y un fotodetector. Se utiliza para aislar o separar en un circuito la etapa eléctrica de control y la de fuerza protegiendo así posibles daños causados por sobre cargas en la parte de potencia o de salida.

**PLC**

Sistema electrónico que almacena en una memoria programable las instrucciones para la realización de funciones específicas a través de entradas o salidas digitales o analógicas en diversos tipos de maquinas o procesos.

**Relé**

Galicismo por Relevador

**Relevador**

Todo dispositivo que al ser excitado débilmente por una corriente eléctrica o cualquier otra forma de energía, provoca un cambio importante en otra corriente o mecanismo de energía mucho más fuerte. Generalmente consta de una bobina de excitación y uno o varios contactos normalmente abiertos, cerrados o de conmutación entre uno y otro.

**Servomecanismo**

Nombre de dispositivos subordinados a otros. Dispositivo que sirve para mantener constante una magnitud para regularla con arreglo a determinado programa, para fijar en el espacio la posición de un órgano móvil en función de la de otro.

**Software**

Programa escrito por el usuario que se instala en la memoria RAM para ser fácilmente modificado.

**Tiristor**

Dispositivo semiconductor compuesto de 4 capas (pnpn) con un mecanismo de control o compuerta.

**Transductor**

Dispositivo que convierte el tipo de señal original para que pueda ser leída o interpretada. Por ejemplo el altavoz convierte la señal de impulsos eléctricos en vibraciones y formas de ondas acústicas.

**TTL**

Circuitos con base en la Lógica transistor-transistor.

**Varistor**

Es un componente electrónico que varía su resistencia ohmica conforme aumenta el voltaje de alimentación. Se usan como limitadores de picos de voltaje.

**Bibliografía:**

- Victoriano A. Martínez Sánchez; Automatizar con Autómatas Programables Ed. RA-MA, España 1991
- Carnicer Royo E.; Aire comprimido:Neumática Convencional, Ed. Blume 1980.
- López Navarro Tomás; Automatismo y Control, Ed. Gustavo Gili S.A.
- Michel Gilles; Autómatas Programables Industriales ,Ed. Marcombo-Boixareu, México 1990.
- Antonio Guillen Salvador; Introducción a la Neumática, Ed. Productica.
- Balcells Josep; Autómatas Programables, Ed. Marcombo-Boixareu, España 1997.
- W. Deppert, K. Stoll; Dispositivos Neumáticos, Ed. Marcombo.
- J Vicent Lladonosa, Ferrán Ibañez; Prácticas de Automatismo Programación de Autómatas Industriales Ed. Alfa Omega-Marcombo.
- J. Pedro Romera, Sebastián Montoro; Automatización Problemas Resueltos con PLC, Ed. Paraninfo, España 1996.
- Jiménez de Cisneros Luis María; Manual de Neumática, Ed. Blume, 1979.
- W. Deppert, K. Stoll; Aplicaciones a la Neumática, Ed. Marcombo. Traducido por FESTO.