

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO ELECTRONEUMATICO
CLASIFICADOR, CONTROLADO POR PLC**

**PRESENTADO POR:
JIMÉNEZ LABOR, ISRAEL FRANCISCO
HENRÍQUEZ HERNÁNDEZ, JOSÉ ALEJANDRO
RIVERA REYES, ALEX ALFONSO**

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2011

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. RUFINO ANTONIO QUEZADA SÁNCHEZ

SECRETARIO GENERAL:

LIC. DOUGLAS VLADIMIR ALFARO CHÁVEZ

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIO:

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUÍN HERNÁNDEZ

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR:

ING. JUAN ANTONIO FLORES DÍAZ

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO MECÁNICO

Título:

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN MODULO ELECTRONEUMATICO
CLASIFICADOR, CONTROLADO POR PLC**

Presentado por:

**JIMÉNEZ LABOR, ISRAEL FRANCISCO
HENRÍQUEZ HERNÁNDEZ, JOSÉ ALEJANDRO
RIVERA REYES, ALEX ALFONSO**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente(s) Director(es):

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ
ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO DE 2011

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente(s) Director(es):

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

ING. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES

AGRADECIMIENTOS

Gracias Jehová por darme la sabiduría, el conocimiento y la inteligencia, por protegerme y guiarme en el buen camino que me llevo a culminar mi carrera, y estoy seguro que Dios me seguirá guiando y bendiciendo en mi vida profesional.

Ing. Rigoberto Velásquez Paz e Ing. Francisco Alfredo de León Torres, gracias por asesorarnos y apoyarnos en todo momento, para que nuestro proyecto se culminará.

A todos los docentes de la Escuela de Ingeniería Mecánica: Ing. Rigoberto Velásquez Paz, Ing. Francisco Alfredo de León Torres, Ing. Francisco Zuleta, Ing. Juan Antonio Flores Díaz, Ing. Leyla Marina Jiménez, Ing. Salomón Torres Ríos Lazo, Ing. Luis Humberto Guidos, Ing. Antonio Aguilar por formarme y compartir sus conocimientos y, experiencias brindándome desde ya criterios para aplicarlos en mi vida profesional.

Agradecimientos especiales a mis padres María Elena labor de Jiménez y José Israel Jiménez Paz porque siempre me brindaron todo su apoyo incondicional.

¡¡ Gracias padres mi sueño se ha realizado!!

A mis dos pequeñitos Marcos Israel Jiménez Argueta y Ulises Israel Jiménez Argueta, quienes fueron mi inspiración y formaron parte de mis fuerzas para no sucumbir ante las adversidades.

A mis hermanos, a mi abuelita Ana María Paz, tíos y tías y demás familiares.

A mis compañeros de tesis Alex Alfonso Rivera y José Alejandro Henríquez con quienes logramos desarrollar el proyecto de tesis, ¡Gracias por apoyarme!

A mis compañeros y amigos Marco, Ruth, Amílcar Fuentes, Frank Rudy, Douglas, Max, Arnulfo, Revelo, Gigoló, Rebeca, y a todos los miembros de la SEIM quienes me brindaron su ayuda de manera incondicional.

Israel Francisco Jiménez Labor

Una etapa más en mi vida ha culminado, llena de obstáculos pero también cargada de éxitos, algo muy fundamental en mi vida es Dios, le doy gracias por haberme permitido finalizar mi carrera profesional, pero todos estos éxitos no hubiesen sido posibles sin la ayuda de los seres más amados en este mundo, y empiezo a dedicarles este esfuerzo a las siguientes personas:

Mi bella esposa, Sra. Ana Ruth Villalta de Henríquez, todo el empeño, esfuerzo y dedicación hecha a lo largo de mi carrera, es producto en buena parte al apoyo que me brindo en los buenos momentos y también en los malos, le doy muchas gracias por haberme brindado esa mano en todo momento, es una inspiración muy grande que tuve incluso en momentos difíciles, gracias por haberme servido como una guía, gracias por tu apoyo!!

A mis padres: Sr. José Santos Henríquez y Sra. Aracely Hernández de Henríquez, creo que las palabras indicadas para decirles lo que siento y la forma de cómo darles mis más apreciadas gratitudes quedan cortas o no existen, pero si algo diré, es que ni siquiera hubiese podido empezar mi trayectoria si estos seres no me hubiesen podido brindar su incondicional apoyo, gracias padres míos, este éxito va por ustedes también.

Mis hermanos, Claudia Esmeralda Maldonado y Josué Edgardo Henríquez, fueron sumamente importantes en esta etapa ya que cuando mas necesite del apoyo moral, encontré en ellos refugio, seguí muchos consejos que en alguna medida me fueron de buen provecho, y por eso quiero compartir con ellos este éxito cosechado.

Hay muchas personas que también me brindaron mucho de su apoyo, son tantas que no podría mencionarlas en una sola página, pero solo decirles que en mi mente están presentes y que les doy mi total gratitud.

Espero que Dios rebose de felicidad y abundancia en la vida de todas las personas que en el confiamos, y que saquemos el mejor provecho de todo lo aprendido en estos años de esfuerzo.

Alejandro Henríquez

A mis compañeros de tesis: Alejandro, Israel.
A todos los compañeros y amigos de la SEIM.
A todos los docentes que nos guiaron en la carrera.
A todos mis familiares que cerca o lejos estuvieron atentos a mi carrera.

A Henry Cruz, Juan Carlos Artiga, José Luis Sanabria, Luis Ernesto Rivas, Marco Antonio Orellana, Jorge Mena, Celina de Mena, Jeffrey Castellano, Carlos Benítez, Luis Miles, Juan Carlos Reyes, Nelson Méndez Montes, Edgard Guardado, Carlos Alberto Osorio, Edwin Rafael Chicas, Gloria Del Carmen Reyes, José Alberto Rivera, Elías Munguía, Rafael Bernal, Carlos Morales, Edgar Tobar, William Martínez, Revelo, Arnulfo, Max, Juan De Dios, Antonio Rosa Lue, Susana Méndez, Juan José Flores, Isaac,

A toda la gente que en la Universidad de El Salvador atravez de todo mi tiempo de estudiante ayudaron a forjar mi carrera,
A mi tía Reina, Tía Ana, Tía Yolanda, primos, amigos, mi abuela Toya, mis sobrinos.
A mis hermanos: Oscar, William, Carlos, María, Patricia, Lisette, Carmen, María Teresa,
A MI MADRE: GLORIA DELMY VIUDA DE RIVERA
A MI HERMANO: FRANCISCO ADGUSTO RIVERA REYES
A MI PADRE: ROLANDO RIVERA LOZANO...¡LO LOGRAMOS AMBOS..!
A DIOS TODOPODEROSO, QUIEN CUIDA DE MI PADRE Y DE MI HERMANO
ALLA EN LA ETERNA MORADA...

.....”y al llegar al final del camino vuelves la vista atrás, ves como seguiste tu sendero, cuanta gente conocistes, a cuantos aprendiste a querer, y te das cuenta que: ¡VALIO LA PENA...!”

Alex A. Rivera R.

INDICE

INTRODUCCIÓN	i
CAPITULO 1.....	1
PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.....	1
1.1 Producción de aire comprimido.	1
1.2 Tipos de Compresores.....	4
1.3 Planta de aire comprimido	6
1.4 Distribución del aire comprimido.....	9
1.5 Tuberías interiores para los equipos.....	18
1.6 Preparación para el aire comprimido	20
CAPITULO 2.....	26
ELEMENTOS DE TRABAJO Y MANDO	26
2.1 Cilindros.....	26
2.2 Características técnicas para los cilindros neumáticos.....	34
2.3 Válvulas	42
2.3.5 Válvulas de flujo.....	52
2.4 Accionamiento de las válvulas.....	53
2.5 Motores de aire comprimido	61
2.6 Motores eléctricos	65
CAPITULO 3.....	85
INTRODUCCIÓN A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	85
3.1 Sistemas de fabricación.....	85
3.2 Los elementos que componen una instalación Automatizada.....	87
3.3 Realización tecnológica del control	91
3.4 Sistemas automatizados	92

3.5 Funciones básicas del autómata programable	94
3.6 Nuevas funciones y elementos de automatización industrial.....	96
CAPITULO 4.....	101
AUTÓMATAS PROGRAMABLES INDUSTRIALES.....	101
4.1 Arquitectura modular del autómata programarle.....	101
4.2 Entradas/Salidas digitales.....	105
4.3 Objetos de lenguaje Asociados a los módulos de Entradas y Salidas Digitales ..	110
4.4 Entradas/Salidas analógicas	111
4.3.2 Salidas analógicas	115
4.4 Objetos de lenguaje Asociados a los módulos de entradas y salidas Analógicas	117
4.5 Objetos de lenguaje del autómata	118
4.6 Estructura de la memoria del autómata.....	119
4.7 Captadores.....	123
CAPITULO 5.....	134
DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO DE TRABAJO	134
5.1 Función principal del equipo controlado por PLC.....	134
5.2 Mesa de trabajo	137
5.3 Parámetros de diseño.....	139
5.4 Dimensionamiento	140
5.5 Elementos que componen la maquina clasificadora	140
5.6 Diseño de la transmisión	149
CAPITULO 6.....	163
PROGRAMACIÓN Y CONTROL	163
6.1 Selección del PLC	163
6.2 Programación y control.....	164
6.3 Introducción a STEP7Micro/WIN	166

6.4 Programación	174
6.5 Circuito eléctrico.....	183
CAPITULO 7.....	187
CONSTRUCCIÓN DEL MODULO.	187
7.1 Instalación y Mantenimiento del modulo.....	187
7.2 Instalación y montaje del CPU.....	191
7.3 Plan de mantenimiento.....	195
7.4 Presupuesto	196
BIBLIOGRAFIA.....	197
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN

La neumática, la hidráulica y sobre todo la automatización son herramientas que son utilizados desde hace varios años en diferentes procesos industriales para mejorar y agilizar su producción. La industria en general ha alcanzado un alto nivel de automatización y, si en las primeras etapas de las aplicaciones de la automatización, esta se desarrollaba dentro de procesos cerrados, en la actualidad se tiende a hacerlos funcionar en sistemas abiertos, de tal manera que un proceso industrial basado en un sistema de control de distribución con uso de autómatas junto a otros elementos programables, ya son partes inherentes al sistema y de gran importancia para mejorar la producción en la que se aplique.

El presente documento da a conocer nuestro trabajo de graduación titulado “Diseño y construcción de un módulo electroneumático clasificador, controlado por PLC”, este documento comprende diferentes etapas, como la distribución de aire comprimido, los elementos de trabajo y mando, temáticas tratadas acerca de automatización industrial, diseño, programación y construcción del módulo electroneumático cuyo elemento principal es un PLC.

En el presente trabajo se describe con buen detalle el diseño, funcionamiento y construcción del modulo clasificador mencionado para las diferentes actividades que ha de realizar. El modulo funciona, en términos generales de la siguiente manera:

1. Es alimentado a través de un elemento apilador de piezas, para el caso, ”probetas” fabricadas de “teflón” y de acero 1020” de diferentes tamaños, los cuales son puestos sobre una banda transportadora, accionada por un motor de C/D; dichas probetas al desplazarse sobre la banda, son sensadas por unos captadores ubicados adecuadamente para su función.
2. Los sensores (O captadores, como también se conocen), de acuerdo a la disposición, dan señal de lectura (controlados por el autómata) para accionar unas piezas separadoras, las que desvían las piezas en su desplazamiento sobre la banda hacia unas rampas, donde se dividen de acuerdo al tamaño y material de las probetas.

3. En las cercanías de las rampas están ubicados otros sensores que realizan el conteo de las piezas que llegan a las rampas, de manera que se complete un ciclo de sensado, y de acuerdo a como se programe el autómata, se podrá hacer la clasificación de piezas por ciclos finitos o infinitos si así se requiere.

Estas funciones que el modulo realiza son un ejemplo claro de aplicación de autómatas, sensores, piezas separadoras y demás elementos que se utilizan en la industria en general.

CAPITULO 1

PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO.

1.1 Producción de aire comprimido.

Los sistemas neumáticos de mando consumen aire comprimido, que debe estar disponible en el caudal suficiente y con una presión determinada por la aplicación. El elemento principal de una instalación productora de aire comprimido es el compresor, del que existen varios tipos para las distintas posibilidades de utilización.

Se llama compresor a toda máquina que impulsa aire, gases o vapores, ejerciendo influencia sobre las condiciones de presión. Los compresores se valoran por el caudal suministrado en L/min (para compresores pequeños) o en m³/min y por la relación de compresión, siendo esta última la presión alcanzada en Kg/cm². Los caudales suministrados pueden medir desde pocos L/min hasta más de los 50.000 m³/min, según el tipo; las presiones finales ascienden desde pocos mm de columna de agua hasta más de 100 Kg/cm². Para la neumática sólo son aptos una parte de los distintos tipos de compresores, condicionado por la presión de trabajo requerida.

Los sistemas neumáticos de mando trabajan normalmente con aire comprimido a 6 Kg/cm². El límite inferior se halla en los 3 Kg/cm² y el superior en los 15 Kg/cm². En casos especiales es posible rebasar el valor máximo o quedar por debajo del valor mínimo; pero estos sistemas de mando son aplicaciones especiales, como las que es posible encontrar de manera aislada en todos los dominios de la técnica.

En el proceso de producción y conducción del aire comprimido, se comprimen también todas las impurezas que contiene el aire atmosférico y las que están presentes en el interior de la red de tuberías, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua. A estas impurezas se suman las partículas que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites y aerosoles y los residuos y depósitos de la red de tuberías, tales como oxido, cascarilla, residuos de soldadura y las sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de las tuberías

y accesorios. En las figuras 1.1 y 1.2 pueden verse los tipos y tamaños de las impurezas más comunes contenidas en el aire. Estas impurezas pueden crear partículas más grandes (polvo + aceite) por lo que dan origen muchas veces a averías y pueden conducir a la destrucción de los elementos neumáticos. Es vital eliminarlas en los procesos de producción de aire comprimido, en los compresores y en el de preparación para la alimentación directa de los dispositivos neumáticos.

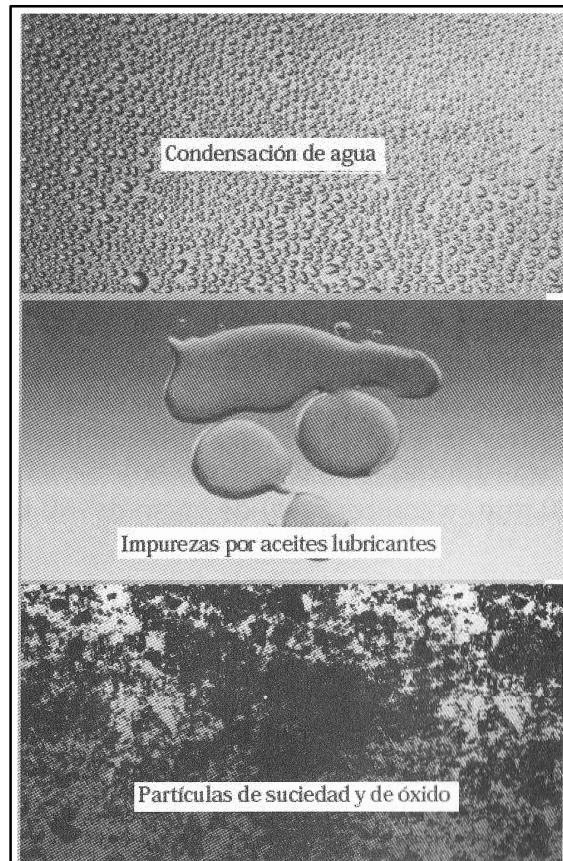


Figura 1.1 Impurezas contenidas en el aire.

Por otro lado, desde el punto de vista de prevención de los riesgos laborales, el aire de escape que contiene aceite puede dañar la salud de los operarios y, además resulta ser perjudicial para el medio ambiente.

La norma DIN ISO 8573-1 indica las clases de calidad del aire. En la tabla 1.1 y tabla 1.2 pueden verse las aplicaciones y las clases de calidad (DIN ISO 8573-1) recomendadas para cada aplicación neumática.

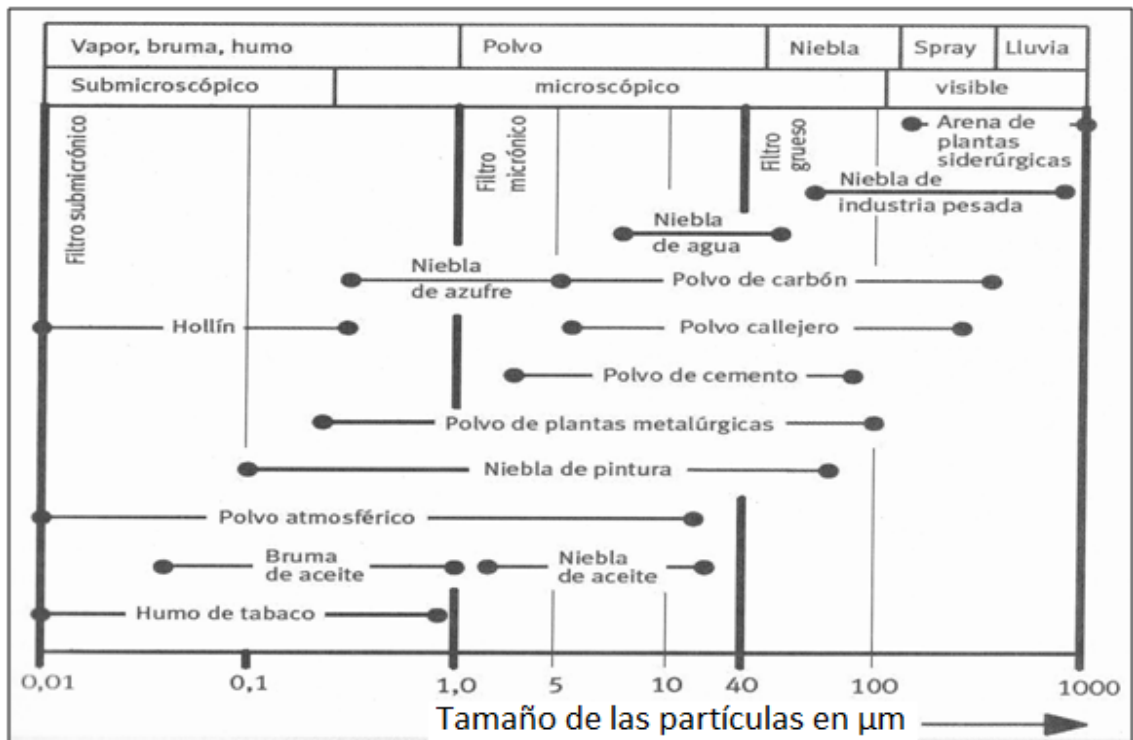


Figura 1.2 Impurezas en el aire comprimido. (Fuente: “Neumática e Hidráulica” de Antonio Creus Solé, Figura 2.84 pág. 129)

Aplicaciones	Cuerpos sólidos (μm)	Punto de condensación del agua ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Contenido máx. de aceite (mg/m^3)	Clase de filtración recomendada
Minería	40	–	25	40 μm
Lavandería	40	10	5	40 μm
Máquinas soldadoras	40	10	25	40 μm
Máquinas herramienta	40	3	25	40 μm
Cilindros neumáticos	40	3	25	40 μm
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	3	25	40 o bien 50 μm
Máquinas de embalaje	40	3	1	5 μm – 1 μm
Reguladores finos de presión	5	3	1	5 μm – 1 μm
Aire de medición	1	3	1	5 μm – 1 μm
Aire en almacén	1	-20	1	5 μm – 1 μm
Aire para pintura	1	3	0,1	5 μm – 1 μm
Técnica de detectores	1	-20 o bien -40	0,1	5 μm – 1 μm
Aire puro para respirar	0,01	–	–	-0.01 μm

Tabla. 1.1 Aplicaciones y calidad del aire para aplicaciones neumáticas. (Fuente: “Neumática e Hidráulica” de Antonio Creus Solé, Tabla 2.14 pág. 130)

Clase de calidad del aire (DIN ISO 8573-1)	Tamaño máx. de las partículas en μm	Densidad máxi- ma de las parti- culas en mg/m^3 (ISO 554)	Punto máx. de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	Contenido máx. de aceite residual en mg/m^3 (ISO 554)
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	–	–	10	–
7	–	–	sin definir	–

Tabla 1.2 Clases de calidad del aire recomendadas para cada aplicación neumática. (Fuente: “Neumática e Hidráulica” de Antonio Creus Solé, Tabla 2.14 pág. 130)

1.2 Tipos de Compresores.

Según el tipo de ejecución, se distingue entre compresores de émbolo y compresores de caudal, que a su vez se subdividen en muchos subgrupos. Los compresores de caudal se utilizan en aquellos casos en que se precisa el suministro de grandes caudales con pequeña presión final, indicándose como económico el empleo de estos compresores con suministros de $600 \text{ m}^3/\text{min}$ aproximadamente. Las presiones necesarias en neumática se consiguen con ejecuciones de una etapa o de varias; por lo que en la práctica, los compresores de caudal apenas se utilizan en neumática. En la práctica, los compresores más empleados y que han dado mejor resultado en las instalaciones productoras de aire comprimido para los usos de los sistemas neumáticos de mando, son los compresores de émbolo y los rotatorios, que a su vez también se subdividen en varios subgrupos.

1.2.1 Compresores de émbolo

El compresor más frecuentemente empleado es el de émbolo (Figura 1.3), pudiendo emplearse como unidad estacionaria (fija) o móvil y existiendo desde los equipos más pequeños hasta los que entregan caudales superiores a los $500 \text{ m}^3/\text{min}$. Los compresores de émbolo de un escalón comprimen el aire hasta la presión final de $6 \text{ Kg}/\text{cm}^2$ y en casos excepcionales llegan hasta los $10 \text{ Kg}/\text{cm}^2$; los compresores de dos escalones llegan normalmente hasta los $15 \text{ Kg}/\text{cm}^2$; pudiendo conseguir los compresores de émbolo de alta compresión con tres y cuatro escalones, presiones finales de hasta $250 \text{ Kg}/\text{cm}^2$.

Las ejecuciones más adecuadas para la neumática son las de uno y dos escalones; con preferencia del de dos escalones sobre el de uno en cuanto la presión final exceda de los 6 Kgf/cm², porque se proporciona una potencia equivalente con gastos de accionamiento más bajos.

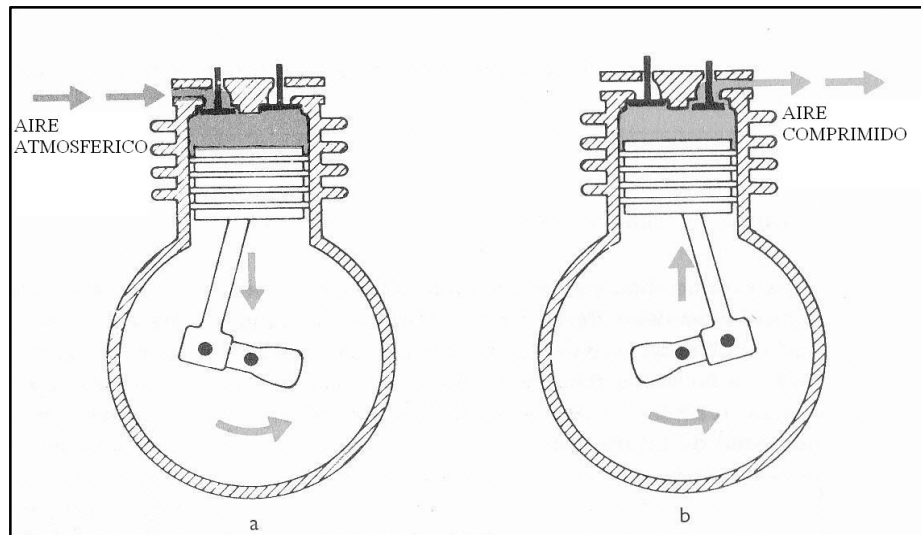


Figura 1.3 Sección de un compresores de embolo refrigerado por aire.

a) Aspiración. b) Compresión.

1.2.2 Compresores rotativos

Los compresores rotativos de células múltiples o también compresores de discos presentan una buena aptitud para los equipos productores de aire comprimido, y el resto de los tipos de este grupo apenas se emplea en la Neumática. El eje de los compresores de células múltiples está excéntricamente situado en el interior de un cilindro (Figura 1.4). De este modo, se origina una cámara de compresión en forma de hoz. Esta cámara es comprimida contra el cilindro exterior, dividido en varias células, mediante unas correderas móviles situadas en el rotor. Cuando el rotor gira a derechas, es aspirado aire que entra por las células de la izquierda que se dilatan o amplían y es comprimido por las células de la derecha que se estrechan o contraen. Las ventajas más notables de este tipo son su marcha silenciosa y un suministro de aire casi exento de sacudidas. Los compresores de rotación de una etapa comprimen hasta 4 Kgf/cm² y hasta 8 Kgf/cm² los de dos etapas. Los caudales suministrados pueden llegar hasta 100 m³/min según el tamaño.

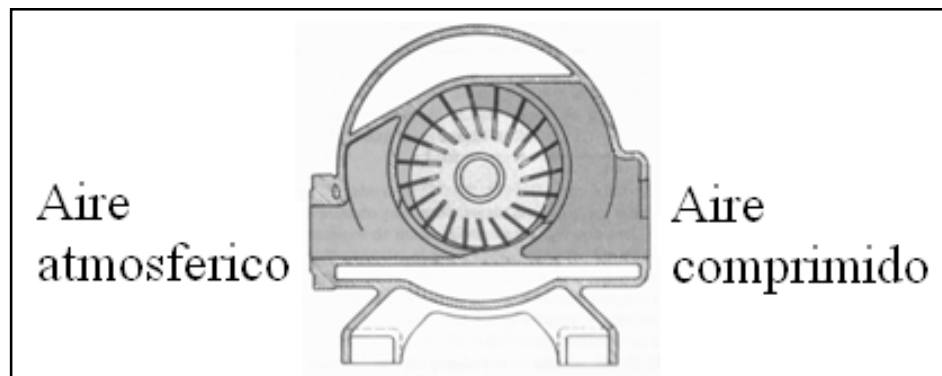


Figura 1.4 Sección de un compresor rotativo de células múltiples.

El caudal suministrado por un compresor en L/min o en m³/min es su capacidad. La unidad de medida del caudal suministrado viene indicada en aire aspirado (aire atmosférico a la presión y temperatura normales).

1.3 Planta de aire comprimido

Los equipos compresores móviles sólo son prácticos para la industria cuando están dispuestos como grupos auxiliares o para la investigación; se muestra una preferencia unánime hacia los equipos de emplazamiento fijo o estacionarios. La instalación de un equipo de aire comprimido debe realizarse siguiendo las indicaciones del fabricante, siendo usual preparar una instalación sobre elementos amortiguadores exenta en lo posible de vibraciones y en los equipos grandes preparar la construcción para que no esté unida con los cimientos de las restantes naves.

Prescindiendo de los pequeños compresores, los equipos productores de aire comprimido deben estar instalados en una sala o nave especial, siendo muy importante que el aire aspirado por los compresores sea lo más fresco posible, seco y exento de polvo. Si el aire es sucio, puede emplearse un filtro para que llegue limpio al compresor a través de las conducciones de diámetro conveniente, pudiéndose alimentar varios compresores a través de una conducción de alimentación.

El grado de pureza del aire aspirado es decisivo para la duración de un compresor.

La aspiración de aire caliente y húmedo conduce a una mayor producción de condensación después de la compresión del aire.

La producción de agua de condensación en el aire comprimido depende en primer lugar de la humedad relativa del aire de aspiración y de la temperatura. La humedad relativa del aire se indica en porcentaje (cociente entre la humedad absoluta y la humedad de saturación).

$$\text{Humedad Relativa} = 100 \frac{\text{Humedad Absoluta}}{\text{Humedad de Saturación}}$$

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en 1 m³ de aire. La humedad de saturación es la cantidad que puede contener 1 m³ de aire a una temperatura determinada. De la tabla 1.3 se puede deducir el contenido posible de agua del aire de acuerdo con la temperatura.

	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90
Vapor de agua en g/m ³	2,1	4,9	7	9,5	13	17	30	83	198	424

Tabla 1.3 Capacidad de absorción de aire saturado con vapor de agua, en función de la temperatura del aire. (Fuente: “Dispositivos Neumáticos “de W.Deppert, K. Stoll)

Si se comprimen 7 m³ de aire atmosférico a la temperatura de 30 °C y 100% de humedad relativa hasta la presión de 6 Kgf/cm², se obtiene 1 m³ de aire comprimido. De acuerdo con los valores de la tabla 2, el contenido de agua de este aire comprimido es 7 x 30 = 210 g. Si este aire, calentado por el trabajo de compresión, se enfría a 20 °C, se produce un condensado de 193 g de agua a partir de los 210 g que había. Con un consumo de aire de aspiración de 70 m³ por hora, se producen 2 litros de agua por hora. El aire atmosférico presenta, según el clima, una humedad relativa de 60-90%.

“Un metro cúbico de aire comprimido sólo puede contener el mismo vapor de agua que 1 m³ de aire atmosférico”.

El tamaño de un equipo de aire comprimido viene determinado por el consumo de todos los sistemas neumáticos de mando conectados (sin considerar en funcionamiento el primer mecanismo neumático) con una reserva adicional para los equipos neumáticos a instalar próximamente y un suplemento del 10 al 30% para las pérdidas por fugas. La determinación del consumo de aire comprimido y la del tamaño del equipo productor es

una misión de planificación importante, que no puede hacerse a la ligera, ya que los costes antieconómicos de producción del aire comprimido pueden evitarse mediante una planificación técnica y especializada.

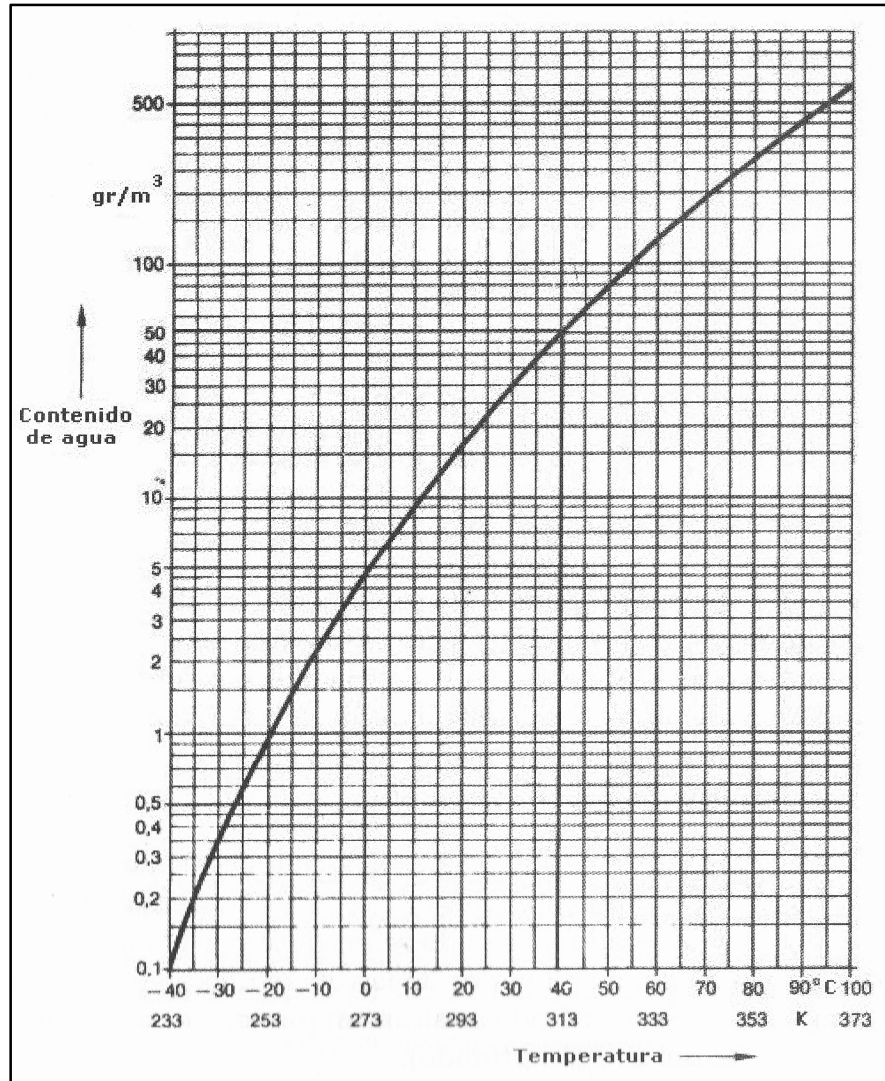


Figura 1.5 Contenido de agua en el aire según la temperatura, el eje X indica la temperatura y el eje Y indica el contenido de agua. (Fuente: "Neumática e Hidráulica" de Antonio Creus Solé, Figura 2.86 pág. 133)

La presión final del compresor no debe ser mucho más alta que la presión de trabajo necesaria para los dispositivos neumáticos, puesto que más compresión cuesta más dinero para producirla y existen más pérdidas por fugas.

En caso de grandes consumos de aire comprimido, es más conveniente instalar dos o tres compresores que un solo grupo, debido a que si falla el único compresor, se produce la parada de todos los equipos neumáticos en muy poco tiempo pues la reserva del acumulador sólo es suficiente para cubrir unos pocos minutos de trabajo. Por el contrario, si se dispone de un equipo formado por varios compresores y se produce el fallo de uno de ellos, aún es posible el funcionamiento, aunque sea limitado, de los equipos neumáticos.

1.4 Distribución del aire comprimido

La distribución del aire comprimido desde el equipo productor hasta el consumidor (figura 1.6) no debe descuidarse nunca, puesto que en este aspecto pueden conseguirse economías financieras permanentes mediante la restricción y contención de las pérdidas por fugas, y mediante la selección de los aparatos y materiales idóneos. Los gastos suplementarios en un equipo nuevo se amortizan por menores gastos de mantenimiento, mejor estanqueidad y en consecuencia menores pérdidas por fugas y mayor duración.

1.4.1 Depósitos, acumuladores.

Los depósitos y acumuladores han de cumplir varias misiones, y en general sirven para compensar las fluctuaciones de la presión en todo el sistema de distribución y para separar el agua de condensación producida. En la figura 1.7 se muestran formas para colocar los depósitos.

El depósito se ubica directamente a continuación del compresor y debe estabilizar los impulsos de presión procedentes del compresor. En la mayoría de los casos debe servir también de acumulador para toda la red y adicionalmente contribuir a la refrigeración del aire comprimido y a la separación de la condensación producida. En los grandes equipos de compresores, se monta un refrigerador entre el compresor y el depósito con condensador de agua, del que se extrae una gran parte del condensado. Los equipos productores de aire comprimido para el servicio de los sistemas neumáticos de mando deben estar equipados, por principio, con un refrigerador dispuesto entre el compresor y el depósito.

El tamaño del depósito es función del consumo de aire comprimido y de la potencia del compresor. Como por principio, en las industrias con equipos neumáticos el depósito debe desempeñar una función de acumulador, casi siempre con un consumo continuo que puede calcularse dentro de estrechas tolerancias, puede determinarse el tamaño del acumulador de forma relativamente sencilla.

Naturalmente, el tamaño del acumulador depende también de otros factores como, por ejemplo, la regulación del funcionamiento del compresor y de la frecuencia de conexión máxima, pero los más decisivos son la función de acumulación y el consumo proporcionalmente continuo de aire comprimido. La función del acumulador es necesaria, porque en caso de perturbaciones, por ejemplo, fallo de la corriente, los dispositivos neumáticos deben alcanzar su posición de partida o de reposo.

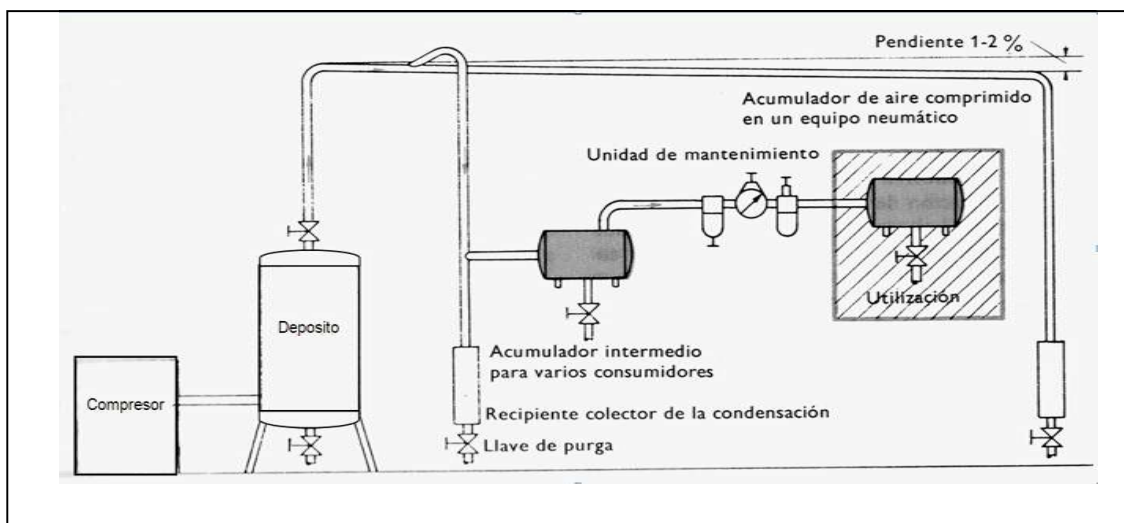


Figura 1.6 Esquema de una instalación de distribución de aire comprimido con tubería de derivación. La inclusión de un acumulador intermedio o de un depósito en una instalación neumática depende de los consumidores, siendo sólo necesario en caso de precisarse grandes caudales de aire en un tiempo pequeño (consumo periódico a impulso).

Es más económico instalar un depósito demasiado grande que uno demasiado pequeño. Para la fabricación y la instalación de depósitos y acumuladores con un producto presión x m³ superior a 10 y una presión de trabajo superior a 0,5 Kgf/cm² existen prescripciones y ensayos dictados por las asociaciones profesionales, y en la práctica todos los depósitos y acumuladores empleados en neumática están sujetos a estas prescripciones.

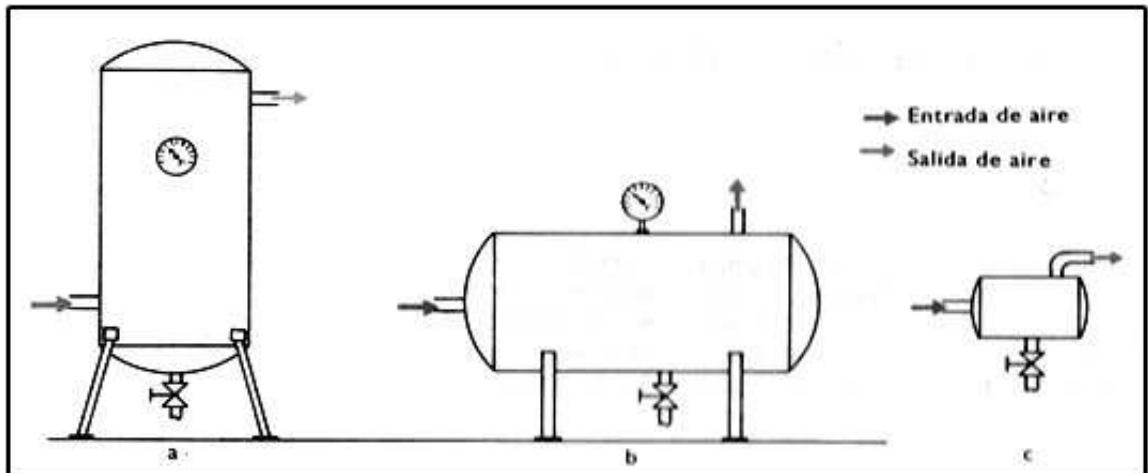


Figura 1.7 Los depósitos y acumuladores pueden estar colocados en posición vertical u horizontal; los pequeños acumuladores pueden ser a veces de la misma tubería de aire comprimido. a) Ejecución vertical. b) Ejecución horizontal. c) Miniacumulador suspendido libremente en la tubería de aire comprimido. La salida en c) debe estar dirigida hacia arriba para no arrastrar la condensación.

La capacidad del acumulador se expresa en unidades de presión por volumen, donde:

Presión en: Kgf/cm^2

Volumen en: Litros; por lo que: Producto presión x litros = $p.v.$ ($\text{Kgf/cm}^2 \cdot \text{L}$).

Los depósitos deberían instalarse al aire libre (y si ello fuera posible a la sombra de algún edificio), por mejorarse así la refrigeración del aire comprimido y la separación del agua condensada; en este caso el calor liberado no puede calentar un recinto tal vez demasiado pequeño. Si se instalan los acumuladores en un recinto pequeño, debe procurarse una buena ventilación.

Además los acumuladores de aire comprimido sirven para equilibrar las fluctuaciones de presión dentro de una red, con el fin de garantizar a todos los consumidores una presión de trabajo lo más uniformemente posible. Con alimentación central de aire comprimido para varias salas o plantas, cada sala y cada planta ha de estar provista de un acumulador intermedio, con el que puede compensarse la caída de presión en las conducciones largas y mantener mejor la velocidad óptima de circulación en las tuberías.

Además, los acumuladores son también necesarios dentro de los sistemas neumáticos de mando o dentro de una instalación, si en las mismas se incluyen elementos neumáticos de trabajo con gran consumo periódico y repentino de aire comprimido, ya que sin el acumulador podría desaparecer momentáneamente la presión de la red cada vez que se conectara un gran consumidor de aire, debido al fuerte y repentino consumo. Las consecuencias de estos grandes impulsos de consumo serían unas velocidades de circulación superiores a la normal en la red de tuberías, intenso enfriamiento de las tuberías y del aire comprimido y como consecuencia una mayor condensación en estos puntos. Los depósitos y acumuladores pueden estar colocados en posición vertical u horizontal; los acumuladores pequeños también pueden colocarse suspendidos libremente en una tubería.

1.4.2 Tuberías

Las tuberías de aire comprimido pueden tener desde algunos mm de diámetro interior hasta varios cm pudiendo ser de goma, plástico o metal, pero nunca debe emplearse el antiguo tubo de gas.

1.4.3 Red de aire comprimido.

Se entiende por red de aire comprimido el conjunto de todas las tuberías que parten del depósito, colocadas fijamente unidas entre sí y que conducen el aire comprimido a los puntos de toma para los equipos consumidores individuales. Los criterios principales de una red son la velocidad de circulación y la caída de presión en las tuberías así como la estanqueidad de la red en conjunto.

1.4.4 Planteamiento nuevo de una red

Para la determinación del diámetro interior la magnitud decisiva es el consumo de aire comprimido más una reserva adicional para los equipos neumáticos que en corto tiempo puedan incorporarse. Además de esto, existen valores procedentes de la práctica, que indican cuáles deben ser la velocidad de circulación y la caída de presión en la tubería para conseguir una rentabilidad óptima. La selección del diámetro interior de la tubería depende de:

La velocidad de circulación admisible, la pérdida admisible de presión y la presión de trabajo, el número de puntos de estrangulación existentes en la tubería, la longitud de la tubería.

El caudal de aire comprimido es una magnitud que se determina a *priori* según el planteamiento. La velocidad de circulación y la caída de presión se hallan relacionadas estrechamente; pero en la caída de presión también influyen la aspereza o rugosidad de la pared interior de la tubería y el número de los tubos-accesorios instalados. Cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la caída de presión hasta el punto de toma de una tubería. La velocidad de circulación del aire comprimido en las tuberías debe estar comprendida entre 6 y 10 m/s; debiéndose utilizar un valor por debajo de los 10 m/s, puesto que la velocidad de circulación supera el valor permisible en muchos puntos debido a los codos existentes, a las válvulas, piezas reductoras o manguitos de empalme; además de esto, también produce una elevación momentánea de la velocidad de circulación la entrada en funcionamiento de los grandes consumidores.

La caída de presión no debe superar en lo posible el valor de 0,1 Kgf/cm² hasta los consumidores acoplados; calculándose en la práctica con el 5% del valor de la presión de trabajo; así con un valor de 6 Kgf/cm² la presión de trabajo tiene una pérdida de 0,3 Kgf/cm², que es aceptable.

Los puntos de estrangulación en la red de aire comprimido se originan por la inclusión de tubos-accesorios, codos o curvaturas y derivaciones. Para el cálculo del diámetro interior de la tubería deben transformarse estos puntos de estrangulación en m de longitud de tubería y añadirse a la longitud total de la misma. La tabla 1.4 contiene la equivalencia en m de longitud de tubería de los puntos de estrangulación individuales. Los fabricantes de compresores han realizado los trabajos preliminares para el cálculo de tuberías y han desarrollado nomogramas para determinar con facilidad el tamaño más adecuado. En el nomograma de la figura 1.8 pueden escogerse los valores conocidos y determinarse el diámetro necesario para la tubería. Se empieza en la parte derecha, en el punto de corte del caudal (consumo de aire comprimido) con la presión de trabajo; un nuevo punto de corte resulta de la longitud total de tubería con la caída de presión permisible.

El consumo de aire comprimido viene indicado en m³/min (L/min) (aire de aspiración).

TABLA 1. Resistencia de circulación de dispositivos y codos de tubos transformada en longitud equivalente de tubería

Dispositivo	Longitud equivalente de tubería en m						
	Diámetro interior de tubería en mm						
	25	40	50	80	100	125	150
Válvula de asiento	6	10	15	25	30	50	60
Válvula de cierre	3	5	7	10	15	20	25
Válvula de compuerta	0,3	0,5	0,7	1	1,5	2	2,5
Manguito acodado	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Manguito acodado	1	2	2,5	4	6	7,5	10
Manguito acodado $r = d$	0,3	0,5	0,6	1	1,5	2	2,5
Manguito acodado $r = 2d$	0,15	0,25	0,3	0,5	0,8	1	1,5
Empalmes de tuberías, tubo en T	2	3	4	7	10	15	20
Pieza reductora	0,5	0,7	1	2	2,5	3,5	4

Tabla 1.4 Resistencia de circulación de dispositivos y codos de tubos transformada en longitud equivalente de tuberías. (Fuente: "Dispositivos Neumáticos" de W.Deppert, K. Stoll)

1.4.5 Instalación de tuberías.

En lo posible, las tuberías de aire comprimido de instalación fija deben ser accesibles, por lo que ha de evitarse su colocación empotrada en paredes o en galerías para tubos demasiado estrechas.

Esto es preciso a fin de que la vigilancia o la comprobación de la estanqueidad de la red de tuberías no se hagan muy difíciles o incluso imposibles. Las tuberías de alimentación horizontales deben colocarse con una pendiente del 1-2% en el sentido de la circulación.

Las derivaciones verticales hacia abajo no deben terminar directamente en la toma para el consumidor, sino que deben prolongarse un poco más con el fin de que el agua de condensación producida no pase al aparato consumidor, sino que se acumule en el punto más bajo de esta derivación para su evacuación (figura 1.9).

En los puntos más bajos de la red de tuberías se deben colocar dispositivos para acumular y evacuar el agua de condensación producida.

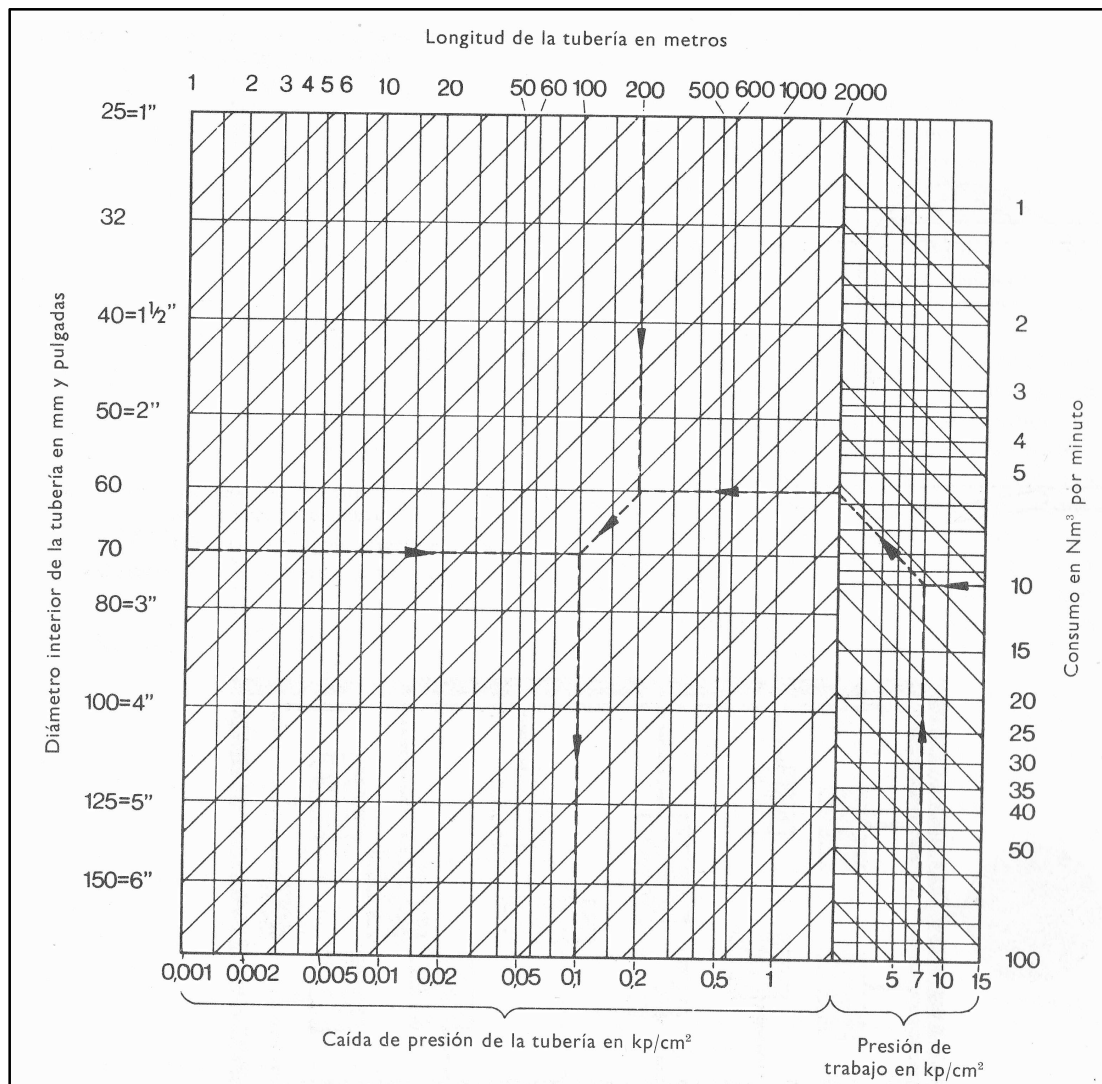


Figura 1.8 Nomograma para el cálculo de tuberías para aire comprimido. . (Fuente: "Dispositivos Neumáticos "de W.Deppert, K. Stoll)

Las tuberías que parten de la tubería principal deben derivarse siempre dirigiéndolas hacia arriba. La curvatura interior ha de tener un radio mínimo $r=5D$ (cinco veces el diámetro exterior de la tubería). Una derivación para varios aparatos consumidores con una gran demanda de aire comprimido debe efectuarse tal como muestra el ejemplo de la figura 1.10.

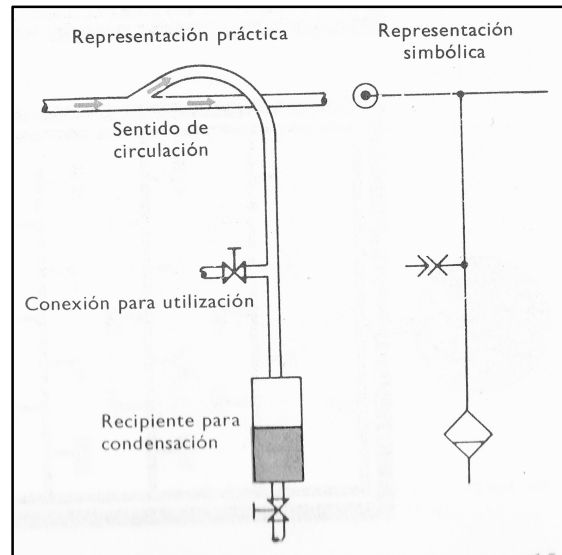


Figura 1.9 Derivación de una tubería. La tubería derivada no debe terminar en la conexión del consumidor, sino que debe prolongarse un poco más y acabar en un recipiente colector de condensación.

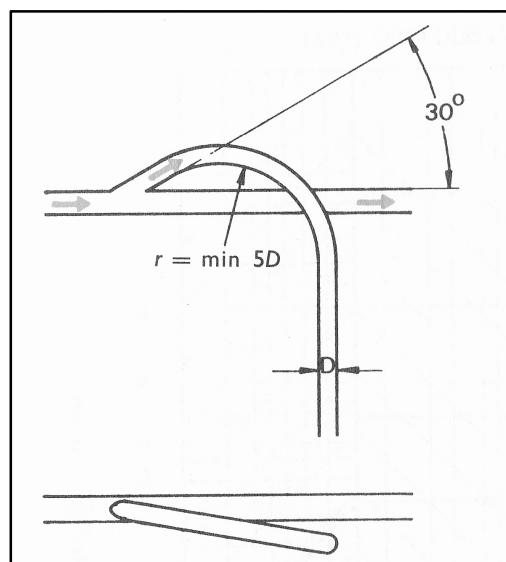


Figura 1.10 Derivación de una tubería de aire comprimido de la tubería principal.

Las derivaciones a los consumidores deben ofrecer suficientes posibilidades de conexión, habiendo dado buen resultado el empleo de acoplamientos rápidos. La red de tuberías se monta preferentemente con tubos de acero y uniones soldadas, ya que el cordón de soldadura es de mayor estanqueidad que cualquier unión atornillada. La desventaja de la unión soldada consiste en que durante la soldadura se producen escamas de óxido y que el cordón de soldadura tiende rápidamente a la oxidación. No obstante, con la inclusión de una unidad de mantenimiento delante del consumidor, los fragmentos son arrastrados por la corriente de aire y se depositan en el colector de agua de condensación. La ventaja de la unión de tubos por soldadura es la buena estanqueidad y el precio. Los tubos preferidos corresponden a los tipos comerciales, de acuerdo con las normas DIN 2448 y DIN 2458. También existe la posibilidad de unir las tuberías con racores de filo cortante, o con racores de anillo opresor (figura 1.11); empleándose para estas uniones tubos de acero estirados de paredes finas sin soldadura según las normas DIN 2385 y 2391. De este modo es más fácil variar la colocación de algunas partes de la red de tuberías. En cuanto a los racores ha de prestarse la atención necesaria para una buena estanqueidad y buen ajuste.

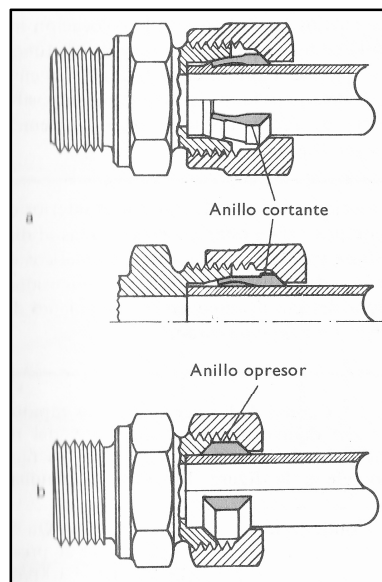


Figura 1.11 a) Atornilladura de bicono cortante según DIN 2335. b) Atornilladura de bicono opresor según DIN 2367.-

De este modo el suministro de aire comprimido es equilibrado y las fluctuaciones de la presión se reducen considerablemente. En la actualidad sólo se emplean tubos de plástico para las redes de aire comprimido en casos especiales, siendo también posible con ellos la unión mediante la soldadura o mediante racores. El coste es mayor que con los tubos de acero. Los nuevos racores que se ofrecen ahora en el mercado son también completamente de plástico (figura 1.12); en ellos y poco antes del extremo del tubo se forma en frío un rodete (saliente) con una sencilla herramienta. El rodete es prensado entre el tubo del racor y la tuerca y de esta manera cierra herméticamente

La red de aire comprimido debe subdividirse en secciones mediante válvulas de bloqueo, con el fin de que en los trabajos de mantenimiento y reparaciones no se pierda aire y quede evacuada la red en su totalidad. El tamaño de las secciones viene determinado por los consumidores a ella conectados. Todas las naves o salas de producción que estén conectadas a la red de aire comprimido deben poderse aislar.

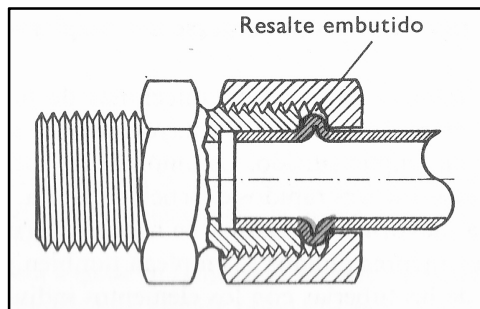


Figura 1.12 Atornilladura de Poliamida para tubos de plástico.

1.5 Tuberías interiores para los equipos.

La oferta de tuberías de aire comprimido para el interior de los equipos es mucho mayor que para las de la red general; empleándose tuberías de acero de paredes delgadas, de cobre, de plástico y mangueras de goma y plástico. Cuanto mayor es un equipo neumático, tanto más se emplean uniones rígidas para las tuberías. La selección del material para las conducciones está condicionada por las influencias del medio ambiente (por ejemplo agua, polvo, temperatura, vapores corrosivos, etc.), por la carga (esfuerzos mecánicos) y también por la frecuencia de maniobra del aire comprimido debido a las salidas y purgas de la tubería en breves instantes.

Otro nuevo punto a considerar podría ser el hecho de si la máquina neumática está destinada a ser vendida o a ser empleada en el taller propio. Para esta finalidad, además de los racores de anillo cortante y de los de anillo opresor según DIN 2353 y 2367, también se dispone de otros sistemas de racores especialmente aptos para los tubos de cobre (figura 1.13). El racor de anillo opresor representado en la figura 1.13 a tiene la ventaja de que la tubería puede montarse y desmontarse sin desplazamiento axial.

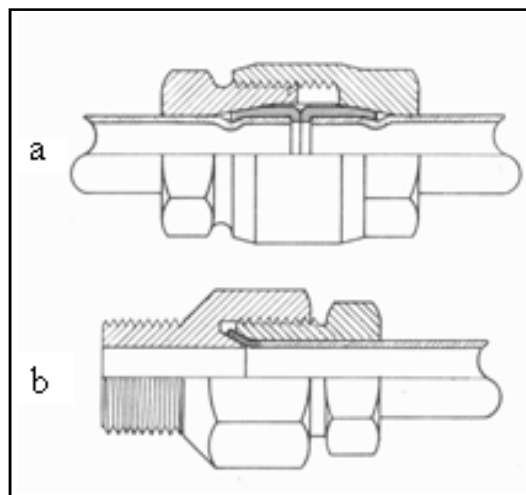


Figura 1.13 a) Atornilladura de anillo opresor para la conexión y desconexión rápida de tuberías sin desplazamiento axial. b) Atornilladura de reborde.

Los racores para las conducciones de plástico, que se emplean cada vez en mayor número se ofrecen en un amplio surtido. La unión de los tubos con los nuevos racores rápidos es sencilla, barata, rápida y, en la mayoría de los casos, se hace sin herramientas. Los racores rápidos se emplean también para la unión de las tuberías con los elementos individuales de mando y de trabajo. La figura 1.14 contiene una selección de los racores rápidos más usuales.

Existen además medios auxiliares para la colocación impecable y la comprobación inmediata de los tubos de plástico, representándose en la figura 1.15 el empleo de una regla para tubos. Las secciones de las tuberías por el interior de los equipos deben estar proporcionadas al diámetro de paso de los elementos neumáticos de mando y de trabajo. Las tuberías dimensionadas por defecto disminuyen el rendimiento del elemento a ellas conectado.

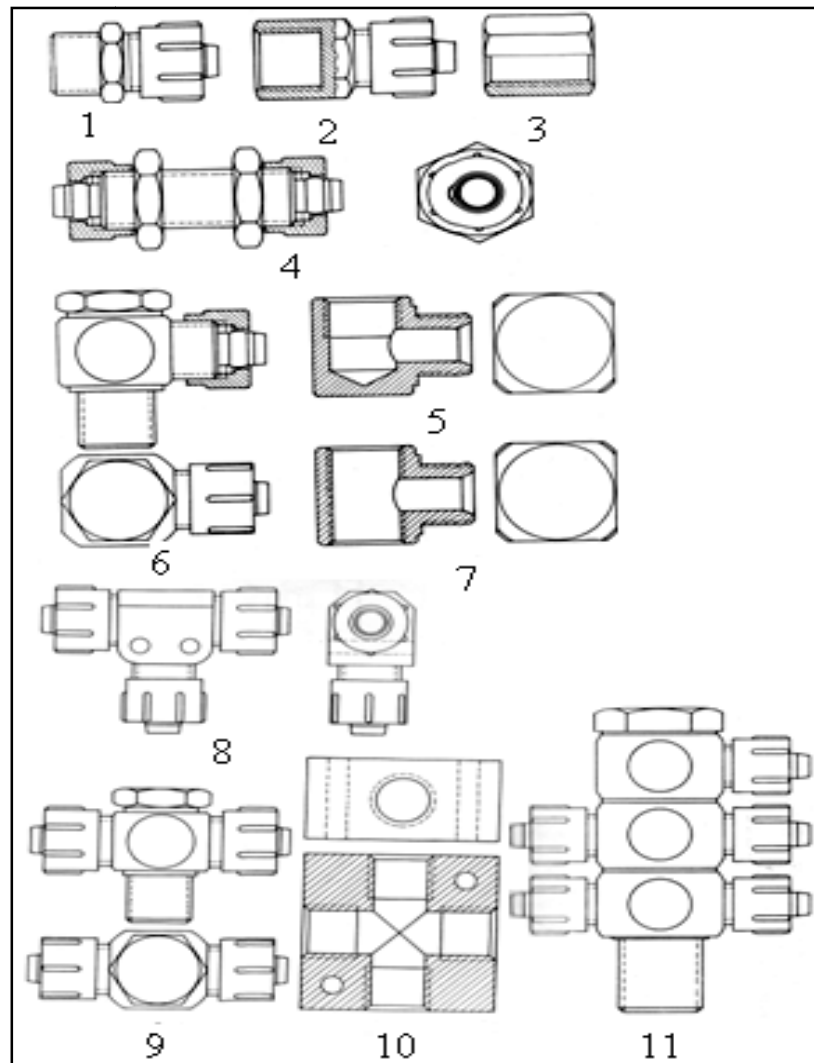


Figura 1.14 Piezas de atornilladuras rápidas para tubería de plástico con diámetros interiores de 3, 4, 6 y 9mm. 1) Atornilladura recta con rosca exterior. 2) Atornilladura recta con rosca interior. 3) Manguito para la unión de dos atornilladuras. 4) Racor pasabique para la unión continua de dos tuberías. 5) Pieza angular en L fija con 1 entrada y 1 salida. 6) Atornilladura angular orientable en L con 1 entrada y 1 salida. 7) Pieza en T fija con 1 entrada y 2 salidas. 8) Atornilladura en T fija con 1 entrada y 2 salidas. 9) Atornilladura orientable en T con 1 entrada y 2 salidas. 10) Distribuidor fijo con 1 entrada y 3 salidas. 11) Atornilladura múltiple orientable con 1 entrada y hasta 6 salidas.

1.6 Preparación para el aire comprimido

En las instrucciones para el servicio de los elementos neumáticos figura casi siempre la indicación “es recomendable la conexión previa de una unidad de mantenimiento”. De esta manera queda garantizado que al consumidor sólo llega aire comprimido debidamente preparado.

Una unidad de mantenimiento está formada por el filtro, el regulador y el engrasador. El aire comprimido procedente de la red general, además de las impurezas que pueden pasar a él en la aspiración por el compresor, contiene también otras impurezas procedentes de la red de tuberías tales como, por ejemplo, polvo, cascarillas y residuos de la oxidación. Con un tendido adecuado de la red general, una gran parte de las impurezas se separan en los recipientes para la condensación, pero las más pequeñas son arrastradas en forma de suspensión por la corriente de aire y actuarían en las partes móviles de los elementos neumáticos como un abrasivo.

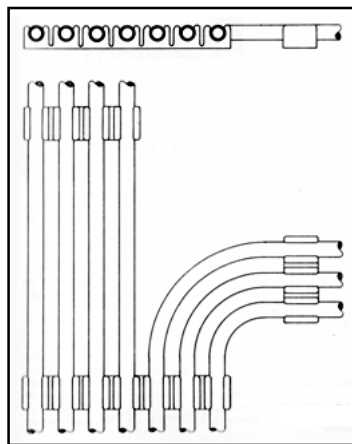


Figura 1.15 Colocación ordenada de mangueras de plástico para el suministro de aire comprimido mediante reglas de sujeción.

Además, la corriente de aire en la red fluctúa, aunque sólo sea en los puntos de arranque y parada del compresor en función de la presión en el depósito acumulador. No obstante, los consumidores deben poder trabajar siempre con la misma presión de aire; a lo anterior ha de añadirse el hecho de que las partes móviles de los elementos neumáticos también necesitan una lubricación.

El aire comprimido sin preparación previa puede influir perjudicando la función de los elementos neumáticos o incluso hacerla imposible. *El filtro* de la figura 1.16 tiene la misión de liberar al aire comprimido circulante de todas las impurezas y del agua en suspensión. Al entrar el aire comprimido en la carcasa del filtro (2) a través de las ranuras guía (1) es puesto en rotación elevando la velocidad de circulación, siendo proyectadas las gotas de agua existentes, por el enfriamiento y el efecto centrífugo.

El condensado, impurificado con partículas de suciedad, se recoge en la parte inferior de la carcasa del filtro y debe ser evacuado al alcanzar la marca máxima de condensado, ya que de lo contrario sería de nuevo arrastrado por la corriente de aire y llegaría hasta el consumidor. Las partículas sólidas mayores que los poros del cartucho de filtro (3) son retenidas por éste, por lo que puede obturarse en el transcurso del tiempo debido a estas partículas sólidas. Por este motivo, el cartucho filtrante debe limpiarse o cambiarse periódicamente. En caso de producirse una gran cantidad de condensado se recomienda instalar un purgador automático en sustitución del tornillo de purga manual (4).

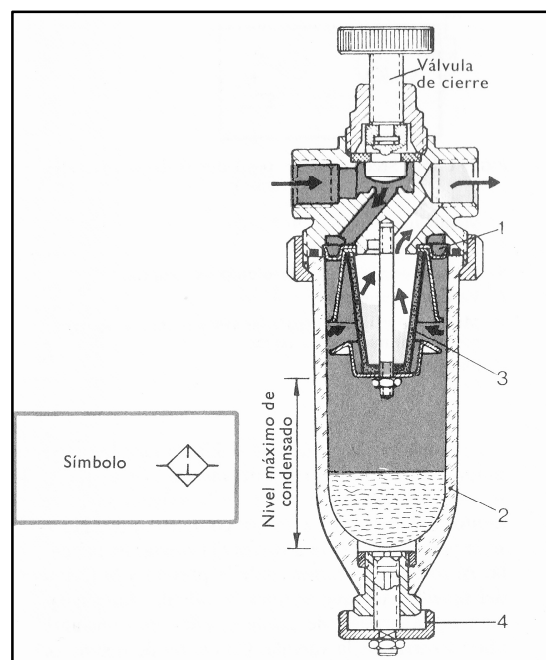


Figura 1.16 Sección de un filtro de aire comprimido. 1) Ranura directriz. 2) Carcasa del filtro; de material de plástico transparente o de latón para presiones superiores a 10 Kg/cm^2 . 3) Cartucho filtrante. 4) Purga de condensación.

La abertura de los poros del cartucho filtrante debe estar comprendidos entre 0,02 y 0,05 mm. El regulador (una válvula de presión), tiene la misión de mantener constante el consumo de aire y la presión de trabajo (presión secundaria) con independencia de la presión de la red variable (presión primaria). La presión de entrada es siempre mayor que

la presión de salida. La válvula de presión regula la presión secundaria mediante una membrana (1) (figura 1.17). Una de las caras de la membrana es impulsada por la presión de salida, y en la otra parte se coloca un muelle (2) cuya fuerza es regulable por un tornillo de ajuste (3). De este modo puede graduarse la presión secundaria. Al aumentar la presión de salida, la membrana se mueve venciendo la fuerza del muelle, por lo que la sección de paso en la junta de la válvula varía de modo continuo o se cierra por completo, regulándose la presión de salida a través del caudal que circula. Al tomarse aire, descende la presión y la fuerza del muelle hace que se abra la válvula. La regulación de la presión de salida implica un constante abrir y cerrar de la válvula. Con el fin de que no se presenten fenómenos de vibración, se monta sobre el plato de la válvula (6) un sistema de amortiguación por aire o por resorte (5). La presión de salida, igual a la presión de trabajo, es indicada por un manómetro.

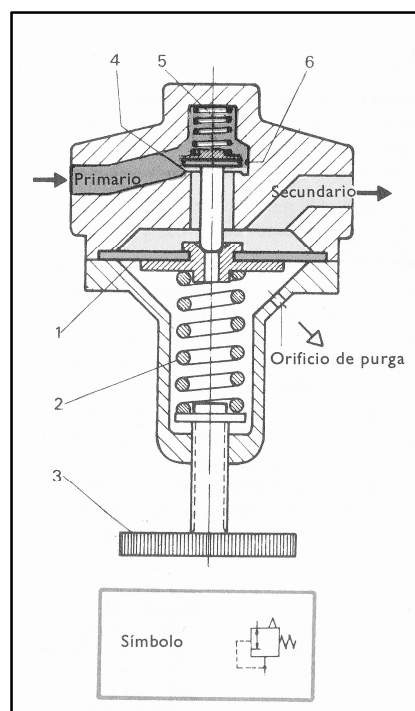


Figura 1.17 Sección de un regulador (Válvula reductora de presión). 1) Membrana. 2) Muelle. 3) Tornillo de ajuste para la presión secundaria. 4) Válvula de asiento. 5) Muelle amortiguador. 6) plato de válvula.

Se distinguen dos clases de reguladores, con o sin orificio de escape. Si se baja la presión secundaria accionando el tornillo de ajuste, debe aparecer en el regulador sin escape un consumo por parte del secundario con el fin de que se rebaje la presión más alta ya establecida.

En el regulador con escape, la presión más alta establecida de antemano es purgada al exterior a través del orificio destinado a este fin hasta que se alcanza la presión secundaria ajustada. En este tipo no se precisa ningún consumo en el secundario.

El lubricador tiene la misión de suministrar a los aparatos neumáticos el lubricante suficiente. La niebla oleosa debe ser lo suficientemente fina para que en los equipos grandes no se precipite en los primeros puntos de engrase o en las reducciones de sección. El aire que circula a través del engrasador produce una diferencia de presión (principio de Venturi) en función de las distintas secciones de las tuberías; de esta manera el aceite contenido en el depósito de alimentación es aspirado y pulverizado al entrar en contacto con la corriente de aire.

El engrasador empieza a funcionar cuando existe una corriente de circulación suficientemente grande; con una toma de aire demasiada pequeña, la velocidad de circulación en la tobera no es suficiente para aspirar el aceite. Ha de prestarse un cuidado especial en observar los valores de circulación mínimos indicados por el fabricante para el engrasador y emplear los aceites recomendados.

La figura 1.18 representa la sección de un engrasador, siendo el sentido de la corriente de aire de P_1 , hacia P_2 . Una válvula reguladora H hace que una parte del aire circule a través de la tobera C hacia E en el depósito de aceite; en este último, el aire se satura de aceite y, por la acción de la sobrepresión en el depósito E y el efecto de aspiración (por la baja presión) en C, el aire circula desde el depósito E a través del tubo de plástico L y aparece en el recinto D en forma de goteo. Mediante el tornillo de ajuste K existe la posibilidad de ajustar las gotas de aceite por unidad de tiempo. Con la salida F se consigue una desviación del aire saturado de aceite por lo que las gotas gruesas caen en el depósito E y la niebla oleosa pasa a la corriente de aire a través de G hacia P_2 : aquí se mezcla con el aire circulante en una proporción que es función de la fuerza del resorte de la válvula de

regulación y de la diferencia de presión entre P_1 , y P_2 .

Según el tipo del engrasador sólo puede reponerse el aceite con el aire comprimido desconectado, pero en los tipos más recientes puede hacerse también con el aire circulando.

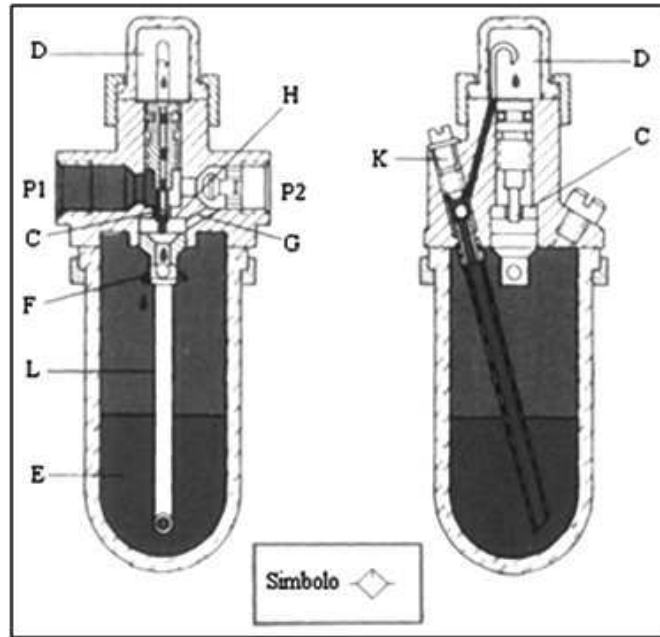


Figura 1.18 Sección de un lubricador (principio de pulverización)

CAPITULO 2

ELEMENTOS DE TRABAJO Y MANDO

2.1 Cilindros

El cilindro de aire comprimido es por regla general el elemento productor de trabajo (órgano motor) en un equipo neumático. Su misión es la de generar un movimiento rectilíneo, subdividido en carrera de avance y carrera de retroceso (a diferencia del motor de aire comprimido, que produce un movimiento de rotación), y de este modo transforma la energía estática en trabajo mecánico (fuerzas de movimiento y esfuerzos de compresión). El cilindro también puede ejercer misiones de regulación y mando dentro de sus funciones de trabajo, pudiendo realizar ambas de manera simultánea según su aplicación.

2.1.1 Cilindros de simple efecto

El cilindro de aire comprimido de simple efecto sólo puede producir trabajo en una sola dirección del movimiento. Existen varios tipos de construcción básicos para los cilindros de simple efecto.

2.1.1.1 Cilindro de membrana

En este tipo figura 2.1, se tensa una membrana de goma dura, de plástico o de metal entre dos láminas metálicas abombadas. El vástago del émbolo está fijado al centro de la membrana. En algunos cilindros de membrana el vástago puede adoptar la forma plana, y formar de este modo una superficie de sujeción. Con los cilindros de membrana sólo pueden conseguirse carreras cortas, desde algunos milímetros hasta un máximo de aproximadamente 50 mm.

Este tipo es particularmente apto para emplearlo en procesos de sujeción. La carrera de retorno se realiza mediante un resorte antagonista o para carreras muy cortas por la misma tensión de la membrana.

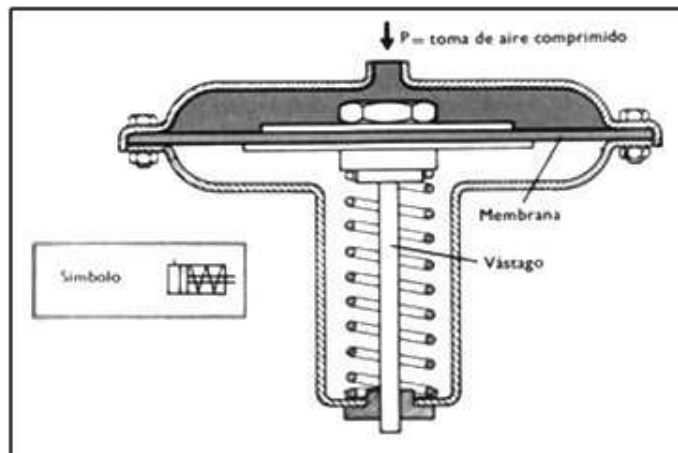


Figura 2.1 Sección de un cilindro de membrana con muelle recuperador.

2.1.1.2 Cilindros de émbolo

A diferencia de los cilindros de membrana, estos son los más empleados en la Neumática. Cada cilindro está constituido por los siguientes elementos básicos: tubo del cilindro, tapas de cierre anterior y posterior, émbolo y vástago. A todas estas partes deben añadirse los elementos de enlace y juntas, así como también una guía para el vástago del émbolo. El tubo del cilindro se fabrica por lo general de tubos de acero estirados sin soldadura, y a las superficies interiores de deslizamiento se les da un acabado de precisión o un rectificado (bruñido). Para las tapas de cierre se emplean con preferencia materiales de fundición (fundición de aluminio o fundición maleable). Los componentes individuales son en su constitución muy semejantes, pero presentan algunas diferencias según el fabricante de las mismas.

También puede fabricarse un cilindro de simple efecto con fundición (metal ligero), formando entonces la cubierta de cierre posterior una unidad con el tubo del cilindro (Figura 2.2). En los cilindros de simple efecto, el aire comprimido sólo actúa sobre una de las caras del émbolo, por lo que sólo puede producir trabajo en un sentido. Según el montaje del equipo neumático, el cilindro de simple efecto puede aplicarse para ejercer tracción (posición de partida con el vástago desplazado; trabaja al recoger el vástago), o

para presionar (posición de partida con el vástago recogido; trabaja al extraer el vástago del émbolo). La carrera de retorno, que en este caso es siempre el recorrido en vacío, se lleva a cabo mediante un resorte recuperador incorporado o mediante fuerzas exteriores que actúan sobre el vástago del émbolo. La fuerza de los resortes recuperadores está calculada de tal manera que el émbolo es repuesto en su posición de partida con la velocidad suficiente. Normalmente, la fuerza del resorte vale un 10-15%, de la fuerza del émbolo a 6 Kgf/cm^2 , siendo decisivo el rozamiento entre el émbolo y el tubo del cilindro.

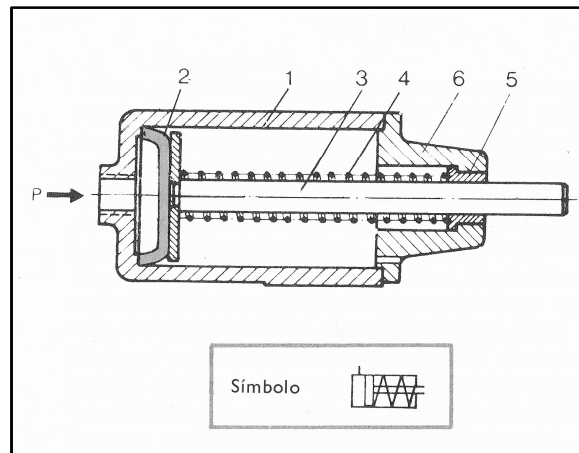


Figura 2.2 Cilindro de simple efecto en material de fundición ligera. 1) Cuerpo del cilindro, 2) Pistón en forma de vaso, 3) Vástago, 4) Muelle recuperador, 5) Guía del vástago, 6) Tapa anterior.

Mediante el resorte antagonista o recuperador incorporado queda limitada la longitud de los cilindros de simple efecto; por regla general no excede de 100 mm la longitud de la carrera. No obstante, debido a que el cilindro de simple efecto puede emplearse con un consumo de aire muy económico, existe la posibilidad de utilizar el simple efecto también con largas carreras; para ello se monta un cilindro de doble efecto dentro de un equipo de tal manera que sólo se dispone de la totalidad de la energía neumática en la toma precisa para la dirección de trabajo y la toma contraria recibe una presión bastante más reducida; por ejemplo, para la dirección de trabajo una presión de 6 Kgf/cm^2 y para la dirección contraria una presión de 1 Kgf/cm^2 . Otra posibilidad consiste en hacer que el émbolo del cilindro sea devuelto por un volumen de aire

comprimido a reducida presión; pero debe prestarse mucha atención a que la presión de este volumen de aire ascienda cuando aumente la carrera y que se anule su efecto en la dirección de trabajo. Esta última posibilidad no es apta para objetivos de sujeción.

2.1.2 Cilindros de doble efecto

El cilindro de aire comprimido de doble efecto se construye siempre en forma de cilindro de émbolo y posee dos tomas para el aire comprimido situadas a ambos lados del émbolo. El cilindro de doble efecto puede producir trabajo en los dos sentidos del movimiento. La figura 2.3 representa en sección dos ejecuciones distintas de un cilindro de doble efecto. De ella puede deducirse la constitución de un cilindro, ya se citaron algunos componentes de un cilindro de émbolo, pero el cilindro de doble efecto tiene además algunas peculiaridades. El tubo del cilindro (1) se fabrica por lo general a base de tubo de acero estirado sin soldadura, que en casos particulares puede ser de aluminio, latón, o bronce especial. Para evitar una intensa abrasión del émbolo elástico, a la superficie deslizante del tubo del cilindro se le da un acabado de precisión o un rectificado, y para aplicaciones especiales recibe un cromado duro complementario. El fondo (2) y la cubierta (3) son con preferencia piezas de fundición (de metal ligero o maleable).

La fijación del fondo y de la cubierta al tubo del cilindro puede realizarse mediante varillas tirantes, roscas o bridas (tal como en la Figura 2.3). La opción entre estas posibilidades depende del tamaño del cilindro y puede estar también condicionada por el fabricante. En la cubierta se utiliza un collarín (5) para la estanqueidad del vástago del émbolo (4). El casquillo del cojinete (6) sirve como guía del vástago. Con el fin de que no pueda penetrar ninguna suciedad del exterior en el recinto del cilindro, ni siquiera por adherencia en el vástago, se monta un anillo exterior de barrido (7) (junta rascadera). Para emplazamientos donde haya gran cantidad de suciedad, se prevé, en sustitución del anillo de barrido, un fuelle, que protege la parte saliente del vástago en todo su recorrido. El émbolo (8) está formado en el ejemplo dibujado por un émbolo interior doble.

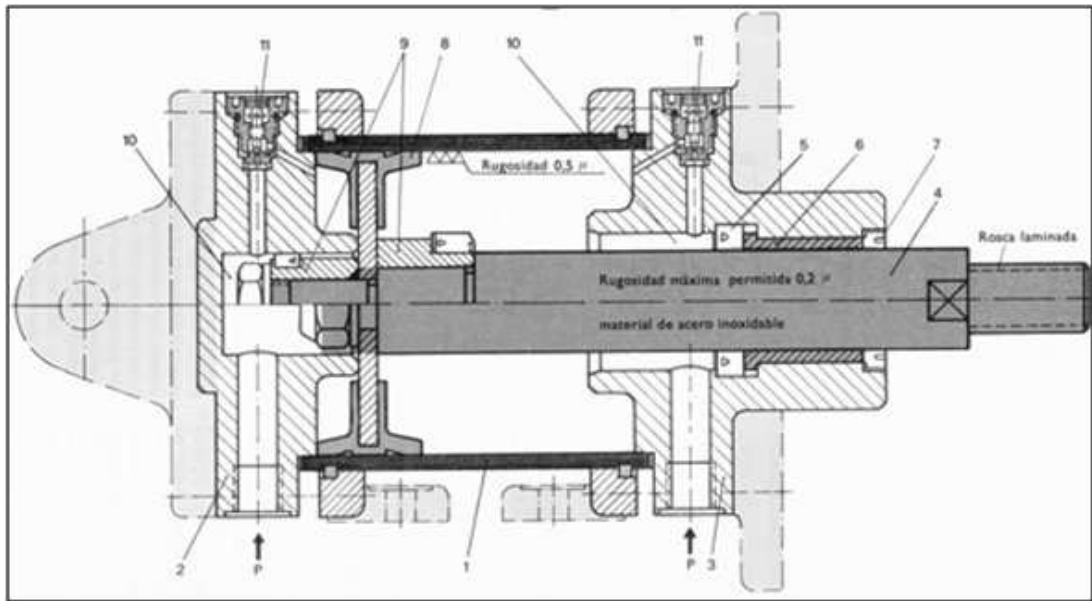


Figura 2.3 Sección de un cilindro neumático de doble efecto, la mitad superior con amortiguación regulable, la mitad inferior sin amortiguación. 1) Tubo del cilindro, 2) Tapa de fondo, 3) Tapa de cubierta, 4) Vástago, 5) Junta obturadora, 6) Cojinete, 7) Junta de rascador, 8) Embolo, 9) Pistón de amortiguación, 10) Volumen de amortiguación, 11) Válvula de estrangulación regulable.

La mitad inferior de la sección reproduce un cilindro normal de doble efecto, y la mitad superior representa uno con amortiguación regulable. Si se han de frenar grandes masas con el cilindro, una amortiguación de este tipo es necesaria; no obstante, esto sólo puede conseguirse en la posición extrema del émbolo, debiendo realizarse también en las restantes posiciones intermedias mediante un dispositivo exterior adicional. En la amortiguación, la salida normal del aire es bloqueada por un émbolo de amortiguación (9) antes del final de la carrera. De este modo, el aire es comprimido de nuevo en el recinto amortiguador (10) debido a que sólo puede salir al exterior lentamente, según el ajuste del estrangulador (11).

Al invertir la marcha del émbolo, el aire entra libremente en el recinto del cilindro, y el émbolo avanza o retrocede con fuerza y velocidad plena. La figura 2.4 muestra algunas de las posibilidades de fijación semejantes, que no son válidas en principio para todos los cilindros de doble o simple efecto, dependiendo del fabricante y del tamaño del cilindro.

Debido a que desde hace poco tiempo existen recomendaciones o normas sobre algunas dimensiones de los cilindros, los fabricantes han desarrollado el programa estándar correspondiente. Los diámetros estándar de los cilindros (en realidad siempre se hace

referencia al diámetro del émbolo) son bastante similares para todos los fabricantes.

En la tabla 2.1 se indica en la primera columna la serie de diámetros de un determinado fabricante. Salvo algunas excepciones, los diámetros se suceden en este orden, de manera que la fuerza de émbolo indicada para un diámetro se duplica o se reduce a la mitad respecto al diámetro más próximo, según sea el diámetro inmediato superior o el inmediato inferior, con una presión del aire de 6 Kg/cm² (columna 2 de la tabla 2.1).

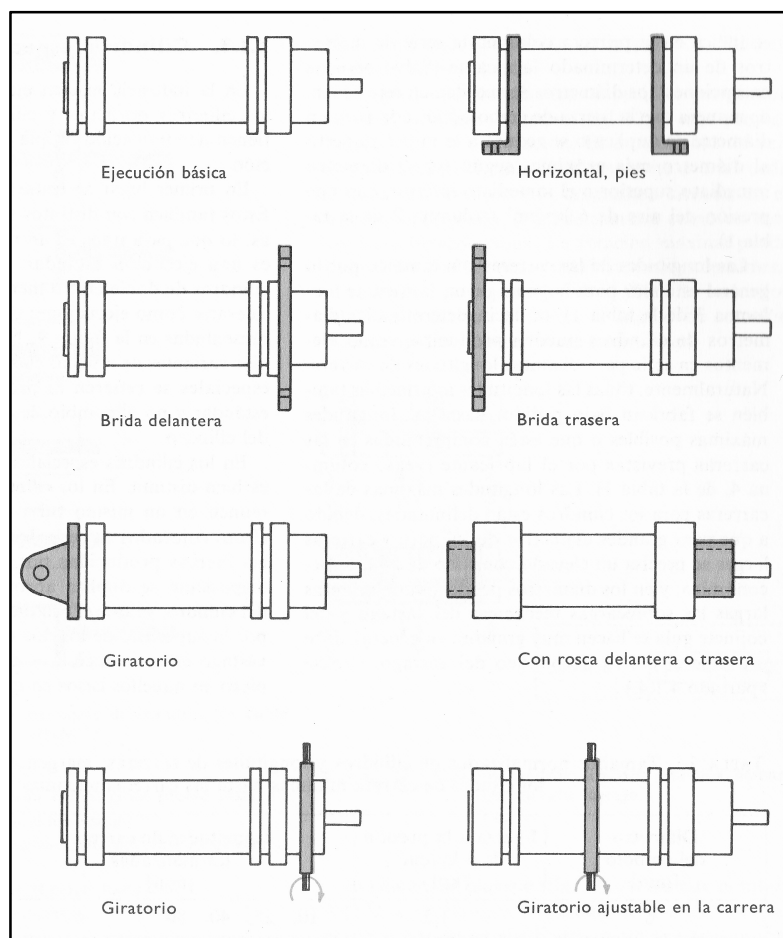


Figura 2.4 Posibilidades de fijación de cilindros neumáticos, que varían según el tamaño y el fabricante.

Las longitudes de las carreras son también por lo general estándar para la gama de un fabricante (columna 3 de la tabla 2.1); es decir, determinados diámetros de cilindros pueden producirse como elementos en serie para distintas longitudes de carrera.

Naturalmente, todas las longitudes intermedias también se fabrican bajo pedido, hasta las longitudes máximas posibles o que estén comprendidas en las carreras previstas por el fabricante (véase columna 4, de la tabla 2.1). Las longitudes máximas de las carreras para los cilindros están delimitadas, debido a que para grandes diámetros del cilindro y carreras largas se precisa un elevado consumo de aire, antieconómico; y en los diámetros pequeños con carreras largas las sobrecargas mecánicas del vástago y del cojinete guía se hacen muy grandes; en general, debe preverse el efecto de pandeo del vástago.

Diámetro del émbolo [mm]	Fuerza a la presión de 6 kp/cm ² [kp]	Longitudes de carrera normalizadas [mm]	Longitudes de carrera mínimas/máximas [mm]
6	1,2	10, 25, 40, 80	10- 80
12	6	10, 25, 40, 80, 140, 200	10- 200
16	12	10, 25, 40, 80, 140, 200, 300	10- 400
25	24	25, 40, 80, 140, 200, 300	10- 500
35	52	70, 140, 200, 300	10-2000
40	72	40, 80, 140, 200, 300	10-2000
50	106	70, 140, 200, 200	10-2000
70	208	70, 140, 200, 300	10-2000
100	424	70, 140, 200, 300	10-2000
140	832	70, 140, 200, 300	10-2000
200	1700	70, 140, 200, 300	10-1100
250	2600	70, 140, 200, 300	10-1100

Tabla 2.1 Tamaños normalizados de cilindros y longitudes de carreras; margen de fabricación desde las longitudes de carrera mínimas hasta las carreras máximas. . (Fuente: “Dispositivos Neumáticos “de W.Deppert, K. Stoll)

2.1.3 Cilindros especiales

En la industria existen ejecuciones especiales de los cilindros normales y cilindros específicos, que tienen denominación propia de acuerdo con su función. En primer lugar se tratarán los tipos especiales. Estos también son distintos según los fabricantes, y así lo que para unos es un tipo especial para otros es una ejecución estándar. Relacionados con los cilindros de doble efecto mencionados, pueden considerarse como

ejecuciones especiales las formas representadas en la figura 2.5. Naturalmente, son posibles variantes de muchas clases; pero las ejecuciones especiales se refieren al programa de fabricación estándar y no al cambio de alguna pieza particular del cilindro.

Al grupo de los cilindros especiales pertenecen también el cilindro rotativo (figura 2.6) o más propiamente cilindro de rotación. El movimiento de vaivén rectilíneo del émbolo se transmite a una rueda dentada a través de una cremallera situada en el vástago del émbolo, y puede tomarse como un movimiento de rotación. La rotación máxima puede llegar a ser de 360° como máximo, pero generalmente es menor, por ejemplo 180° ó 290° . En todos los cilindros rotativos se indica el ángulo de rotación además de las características neumáticas.

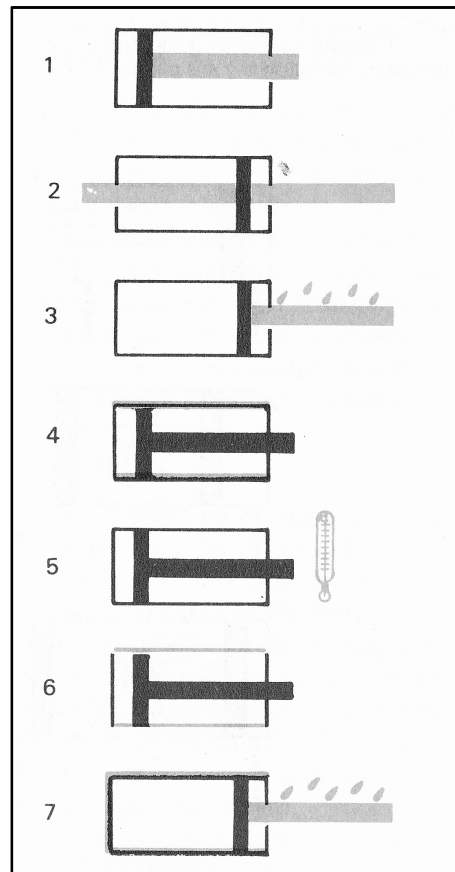


Figura 2.5 Ejecuciones especiales de cilindros de doble efecto. 1 vástago reforzado, 2 vástago saliente en ambos lados, 3 con juntas resistentes al calor, 4 con tubo del cilindro de latón, 5 vástago resistente a los ácidos, 6 con superficie de deslizamiento del cilindro de cromo duro y 7 con recubrimiento exterior de plástico y vástago resistente a los ácidos.

2.2 Características técnicas para los cilindros neumáticos

Los valores indicados en las tablas se refieren a un mismo fabricante. En las ejecuciones de otros fabricantes condicionadas por la construcción, son posibles pequeñas variaciones de algunos de estos valores en más o en menos. Esto es válido en particular para el rozamiento en el cilindro, que de este modo condiciona la velocidad alcanzable por el émbolo, y también para el *espacio muerto* en el cilindro. Los valores correspondientes indicados pueden considerarse como valores medios orientativos.

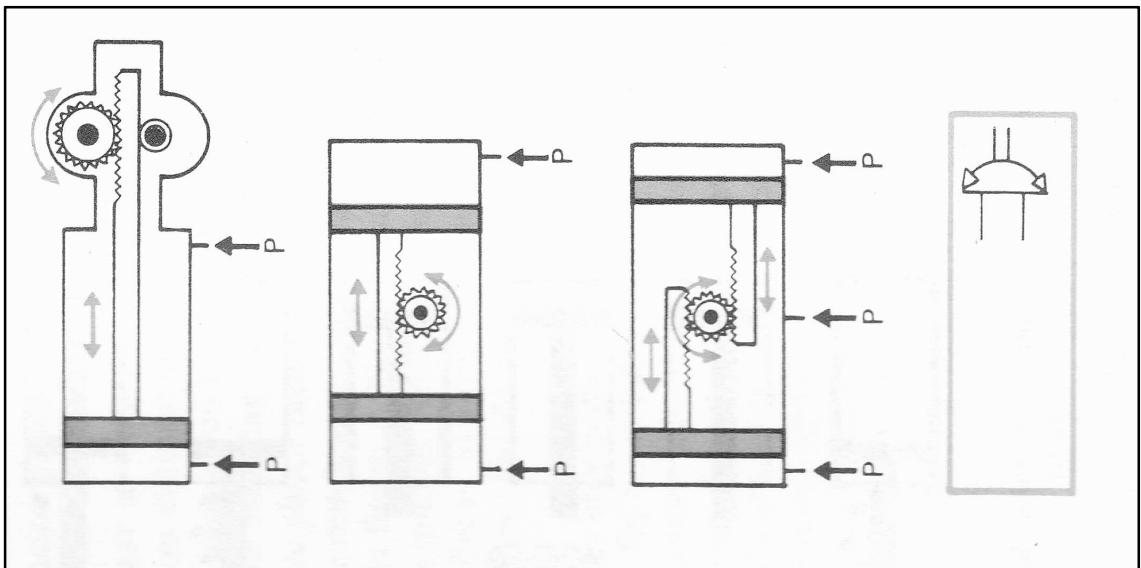


Figura 2.6 Cilindro giratorio, el movimiento lineal del pistón es transformado en un movimiento de rotación mediante cremalleras y piñones.

2.2.1 Fuerza del cilindro

La fuerza generada en el cilindro, es función del diámetro (superficie) del émbolo, de la presión del aire comprimido (= presión de trabajo) y de la resistencia de rozamiento (o fricción). Como la fuerza de presión se mide en estado de reposo (estático), la resistencia de rozamiento (a la que en adelante se designará como rozamiento) corresponde al momento de arranque del émbolo. En el caso más favorable de movimiento (caso ideal) el rozamiento es nulo hasta el estado de reposo.

La fuerza de presión del cilindro se puede calcular de la siguiente manera:

Fuerza de presión = Superficie del embolo X Presion

$$F = AxP(\text{cm}^2 \times \text{Kgf} / \text{cm}^2)$$

Para los cilindros de simple efecto:

$$F = D^2 \frac{\pi}{4} p - f$$

Para los cilindros de doble efecto:

$$\text{Carrera de avance: } Fa = D^2 \frac{\pi}{4} p$$

$$\text{Carrera de retroceso: } Fr = (D^2 - d^2) \frac{\pi}{4} p$$

Símbolos empleados:

D = diámetro del embolo en [cm]

d = diámetro del vástago en [cm]

A = área del embolo [cm^2]

f = fuerza del muelle [Kgf]

F = fuerza de presión [Kgf]

P = Presión de trabajo [Kgf/ cm^2]

En los cilindros de simple efecto debe reducirse la fuerza del muelle recuperador, y en los cilindros de doble efecto debe deducirse en la carrera de retroceso el área del vástago del área total del émbolo. Para el rozamiento o bien para el momento de arranque se descuenta de un 3 o un 10% de la fuerza calculada. En la tabla 2.2 pueden verse las fuerzas de presión para distintos tamaños de cilindros y presiones de trabajo comprendidas entre 1 y 15 Kgf/cm².

Tamaño del cilindro \varnothing pistón, mm	Presión de trabajo en kp/cm ²														
	1	2	3	4	5	6*	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Fuerza en kp														
6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1059
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386	1525	1664	1803	1942	2079
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832	3116	3400	3683	3966	4248
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332	4766	5200	5633	6066	6498

Tabla 2.2 Fuerza de presión conocidos el diámetro del pistón y la presión de trabajo, sin considerar la fuerza del muelle (cilindros de simple efecto) y el área del vástago (carrera de retorno de cilindros de doble efecto); el coeficiente de rozamiento sí que se ha considerado. . (Fuente: "Dispositivos Neumáticos" de W.Deppert, K. Stoll)

2.2.2 Consumo de aire

La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume transformándose en trabajo. El aire comprimido ya utilizado fluye a la atmósfera por el escape durante la carrera de retroceso del émbolo. A continuación se explica el modo de calcular el consumo de aire para una presión de trabajo, diámetro del émbolo y una carrera determinados:

$$\text{Relacion de compresion} \times \text{Area de embolo} \times \text{Carrera}$$

La relación de compresión (referida a la presión normal al nivel del mar) se calcula por:

$$\frac{1.033 + \text{presion de trabajo en Kgf/cm}^2}{1.033}$$

Para una estimación sencilla y rápida del consumo de aire, en la tabla 2.3 se han reunido los valores representativos del consumo de aire por cm de carrera para las presiones y diámetros de cilindros normales en la neumática. El consumo de aire se indica siempre en litros de aire aspirado para obtener valores uniformes referidos a la potencia del compresor. Se calcula por las ecuaciones siguientes:

Cilindros de simple efecto

Consumo de aire $Q = s.n.q$ en l/min

Cilindros de doble efecto

Consumo de aire $Q = 2(s.n.q)$ en l/min

Significado de los símbolos empleados:

Q = consumo total de aire en l/min

q = consumo de aire por cm de carrera

s = carrera en cm

n = ciclos por minuto

Tamaño del cilindro \square pistón, mm	Presión de trabajo en kp/cm ²														
	1	2	3	4	5	6*	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Fuerza en kp														
6	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3
12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
25	4	9	13	17	21	24	30	34	38	42	46	50	55	60	63
35	8	17	26	35	43	52	61	70	78	86	95	104	113	122	129
40	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	144	156	168	180
50	17	35	53	71	88	106	124	142	159	176	194	212	230	248	264
70	34	69	104	139	173	208	243	278	312	346	381	416	451	486	519
100	70	141	212	283	353	424	495	566	636	706	777	848	919	990	1059
140	138	277	416	555	693	832	971	1110	1248	1386	1525	1664	1803	1942	2079
200	283	566	850	1133	1416	1700	1983	2266	2550	2832	3116	3400	3683	3966	4248
250	433	866	1300	1733	2166	2600	3033	3466	3800	4332	4766	5200	5633	6066	6498

Tabla 2.3 Consumo de aire de los cilindros neumáticos por cm de carrera en función del diámetro del pistón y de la presión de trabajo. (Fuente: "Dispositivos Neumáticos" de W.Deppert, K. Stoll)

En los cilindros de doble efecto no se ha tenido en cuenta el volumen del vástago, que puede despreciarse debido a otras imprecisiones en las tuberías y válvulas. El consumo de aire de un cilindro se expresa en l/min, puesto que debe ser conocido el número de ciclos por unidad de tiempo. En el consumo total de aire de un cilindro figura también el llenado con aire comprimido de *los espacios muertos*, ya que estos últimos pueden alcanzar hasta un 20% del consumo de aire de trabajo propiamente considerado. Espacios muertos de un cilindro son, por ejemplo, las tuberías de alimentación del aire comprimido al propio cilindro, así como los espacios en las posiciones finales del émbolo no utilizables para la carrera. La tabla 2.4 contiene un cuadro sinóptico del espacio muerto para los cilindros de doble efecto de un fabricante.

2.2.3 Velocidad del embolo

La velocidad media del émbolo en los cilindros estándar está comprendida entre 0,1 y 1,5 m/s (6,0 a 90 m/min). En los cilindros especiales, la velocidad puede hacerse mayor. La velocidad del émbolo es función de la presión del aire, de la fuerza antagonista, de las secciones de las tuberías, de la longitud de las tuberías entre la válvula de mando y el cilindro y también del diámetro nominal de la válvula de mando. Además la velocidad del émbolo también puede ser afectada por válvulas de estrangulación o válvulas de escape rápido. En la tabla 2.5 y figura 2.7 se han resumido los valores de las velocidades medias en función de las fuerzas externas que actúan sobre el émbolo y del diámetro nominal de la conexión.

Diámetro del émbolo mm ³	Lado de la cubierta en cm ³	Lado del fondo en cm ³
12	1	0,5
16	1	1,2
25	5	6
35	10	13
50	16	19
70	27	31
100	80	88
140	128	150
200	425	448
250	2005	2337

Tabla 2.4 Espacio muerto para los cilindros de doble efecto de un determinado fabricante. En este punto pueden presentarse grandes diferencias en comparación con otros grandes fabricantes.

∅ émbolo mm	Diámetro nominal mm	Carga en %				
		0	20	40	60	80
		Velocidad del pistón en mm/seg				
25	4	580	530	450	380	300
35	7	980	885	785	690	600
50	7	480	440	400	360	320
70	7	230	215	200	180	150
70	9	530	470	425	380	310
100	7	120	110	90	80	60
100	9	260	230	205	180	130
140	9	130	120	110	90	70
140	12	300	260	230	200	170
200	9	65	60	55	50	40
200	12	145	130	120	105	85
200	19	330	300	280	250	215
250	19	240	220	185	165	115

Tabla 2.5 Velocidad media del embolo de los cilindros neumáticos con carga parcial y con una presión de trabajo de 6 Kg/cm².

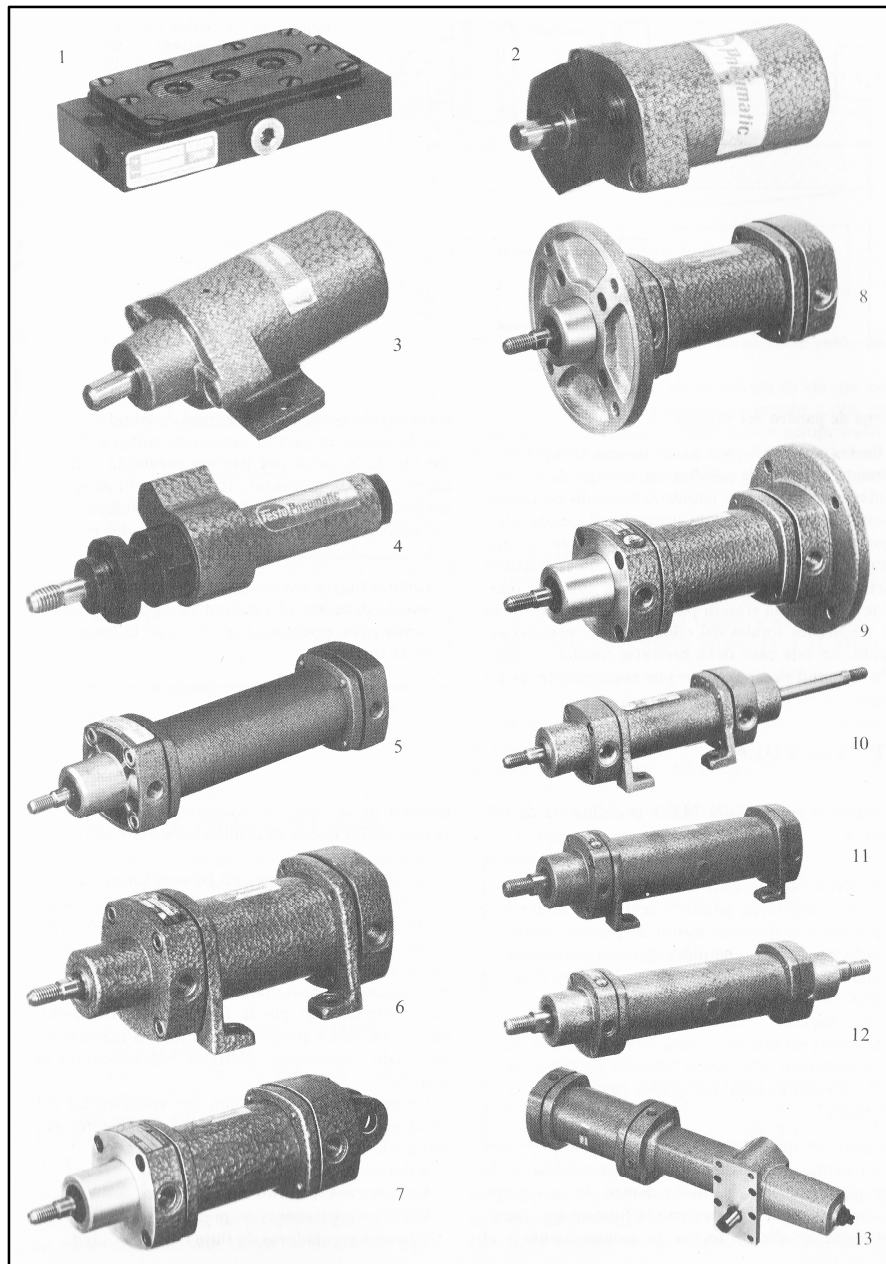


Figura 2.7 Cilindros neumáticos. 1 Cilindro neumático de simple efecto(membrana), 2 Cilindro de simple efecto (ejecución de fundición ligera), 3 Cilindro de simple efecto (ejecución de fundición ligera), 4 microcilindro de doble efecto, 5 Cilindro de doble efecto sin piezas de fijación, 6 Cilindro de doble efecto con fijación por pie, 7 Cilindro de doble efecto con fijación oscilante, 8 Cilindro de doble efecto con fijación por brida delantera, 9 Cilindro de doble efecto con fijación por brida trasera, 10 Cilindro de doble efecto con vástago continuo saliente en ambos lados, 11 cilindro tándem, 12 cilindro de cuatro posiciones, cilindro de accionamiento giratorio

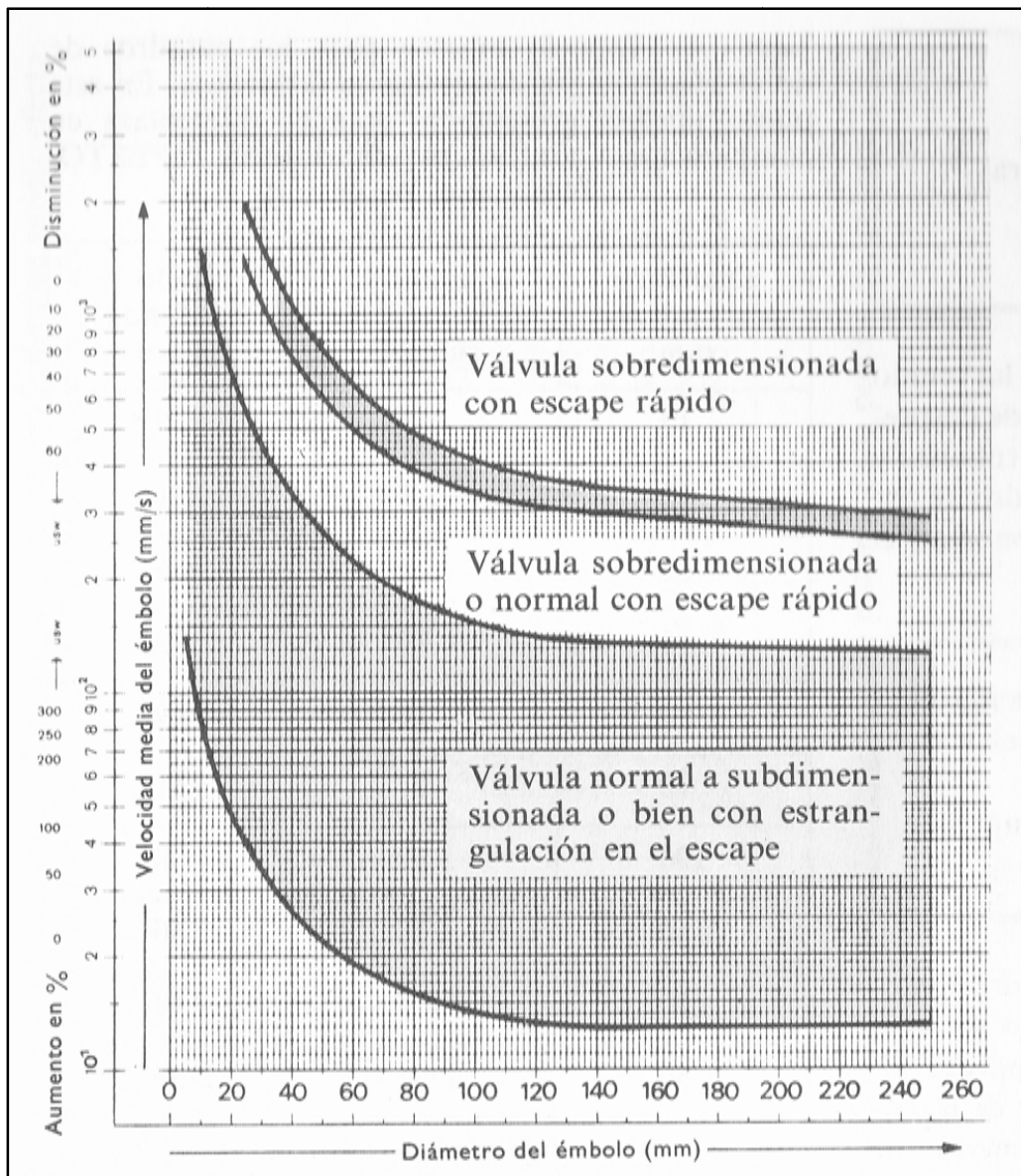


Figura 2.8 Diagrama de velocidades para pistón sin carga, en función del diámetro del émbolo, con una presión de trabajo de 6 Kg/cm^2 . . (Fuente: "Dispositivos Neumáticos" de W.Deppert, K. Stoll)

2.2.4 Carga de pando del vástago

En las carreras largas ha de tenerse siempre muy presente la carga de pando del vástago. Los fabricantes construyen sus cilindros teniendo en cuenta ya este aspecto, y para la generalidad de los cilindros puede escogerse en lugar del vástago normal uno de

mayor sección. Este problema se acentúa particularmente en los cilindros con sujeción oscilante o con brida trasera para los que se consideran las longitudes totales del cilindro y del vástago extraído. En este caso debe prestarse mucha atención a la longitud de apoyo L_a por consiguiente, es recomendable escoger una longitud de cilindro mayor que la necesaria para la carrera de trabajo. El peligro de rotura por pandeo se reduce considerablemente en los vástagos con guía adicional fuera del cilindro ver tabla 2.6. Cuanto mayor sea la carrera del cilindro tanto mayor debe de ser la longitud de apoyo; tómese como valor orientativo un 20% de la longitud de la carrera.

\varnothing émbolo en mm	\varnothing vástago normal en mm	Carrera máxima normal en mm	\varnothing vástago refor- zado en mm	Carrera máxima refor- zado en mm
35	12	500	22	1000
50	12	320	25	1200
70	16	400	25	900
100	22	600	32	1100
140	25	500	40	1200
200	32	550	40	950
250	40	700	60	950

Tabla 2.6 Longitud máxima del vástago para la carga máxima posible de un cilindro neumático (riesgo por pandeo). Ejecución normal y reforzada de los vástagos. Factor de seguridad=5. (Fuente: "Dispositivos Neumáticos "de W.Deppert, K. Stoll)

2.3 Válvulas

Según la norma DIN 24300, la definición de válvula es:

Válvulas son dispositivos para controlar o regular el arranque, parada y sentido así como la presión o el flujo del medio de presión, impulsado por una bomba hidráulica, un compresor o por una bomba de vacío. La denominación de válvula es de significado superior —correspondiendo al uso internacional del idioma— para todas las formas de construcción tales como válvulas de compuerta, válvulas de bola, válvulas de plato, grifos, etc.

La forma de construcción de una válvula es de una significación secundaria dentro de un equipo neumático; en él sólo importa la función que puede obtenerse de ella, la forma de accionamiento y el tamaño de la rosca de conexión; con esta última característica queda determinado el paso correspondiente.

Las válvulas empleadas en Neumática sirven principalmente para controlar un proceso actuando sobre las magnitudes que intervienen en él. Para poder controlar, se necesita una energía de control con la que debe intentarse conseguir el mayor efecto posible con el gasto mínimo. La energía de control viene determinada por la forma de accionamiento de una válvula y puede conseguirse manualmente o por medios mecánicos, eléctricos, hidráulicos o neumáticos.

De acuerdo con la función que realizan, las válvulas neumáticas se clasifican en los siguientes grupos principales:

- Válvulas distribuidoras o de vías.
- Válvulas anti retorno o de bloqueo.
- Válvulas reguladoras de presión.
- Válvulas reguladoras de flujo o de velocidad.

2.3.1 Válvulas distribuidoras

Estas válvulas influyen en el camino del aire comprimido (de manera preferente arranque, parada y sentido de paso).

Según el número de vías controladas se le llama válvula de dos vías, de tres vías, de cuatro vías o de múltiples vías. Como vías se consideran: la conexión de entrada de aire comprimido, conexión(es) de alimentación para el consumidor y orificios de purga (escape). Los orificios de salida se consideran siempre como una sola vía controlada, aún cuando la válvula tenga varios de ellos.

2.3.1.1 Características de las válvulas según la función

Al grupo de las válvulas de dos vías pertenecen todas las llaves de paso, ya que estas poseen un orificio de entrada y otro de salida. En ellas, si la válvula está abierta el aire comprimido puede circular libremente de izquierda a derecha y viceversa figura 2.8.

La conexión del aire comprimido (alimentación) se designa con la letra *P*. Las tuberías de trabajo con letras mayúsculas en la secuencia *A, B, C,...* Los orificios de purga con *R, S, T,...* Las tuberías de control o accionamiento con *Z, Y, X,...*

Otras construcciones, de las que se emplean muchas en los equipos, sólo tienen un sentido de paso establecido (figura 2.9), distinguiéndose entre *abierto* y *cerrado*.

La válvula *cerrada* es una válvula de vía que no permite el paso en la posición de reposo y que en accionamiento permite circular al aire comprimido; (figura 2.9). La válvula *abierta* es justamente lo contrario, en reposo el paso está libre y en accionamiento está cerrada (figura 2.10)

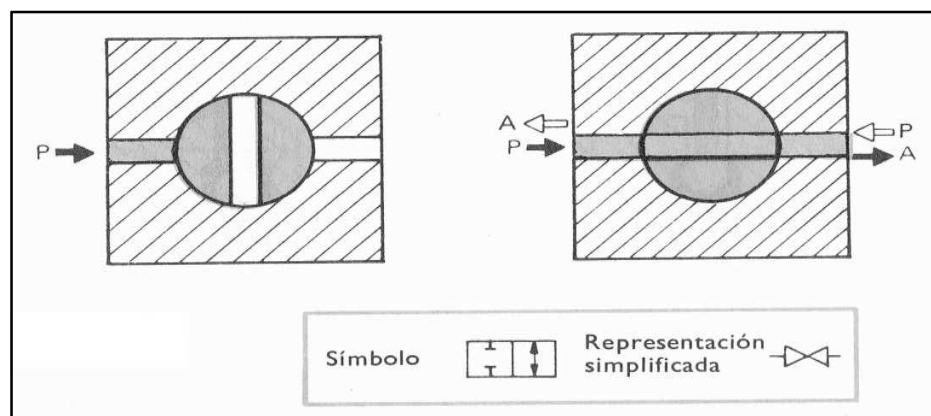


Figura 2.9 Esquema del funcionamiento de una válvula de dos vías (llave de paso) en la que el paso puede ser en los dos sentidos.

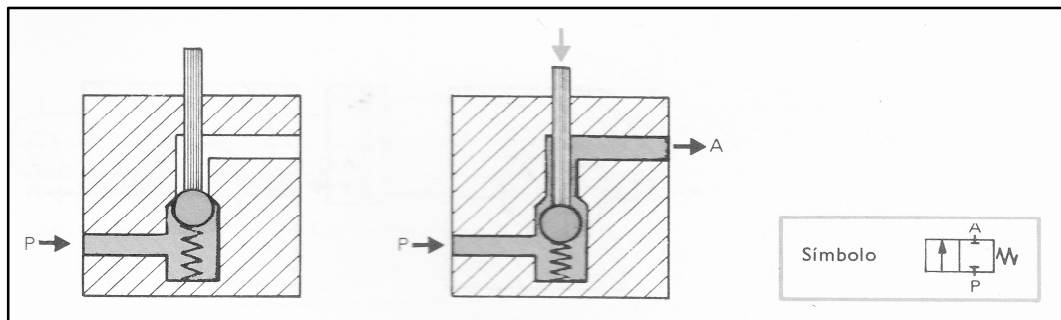


Figura 2.10 Esquema del funcionamiento de una válvula de asiento de bola de dos vías. El aire comprimido solo puede circular en un sentido.

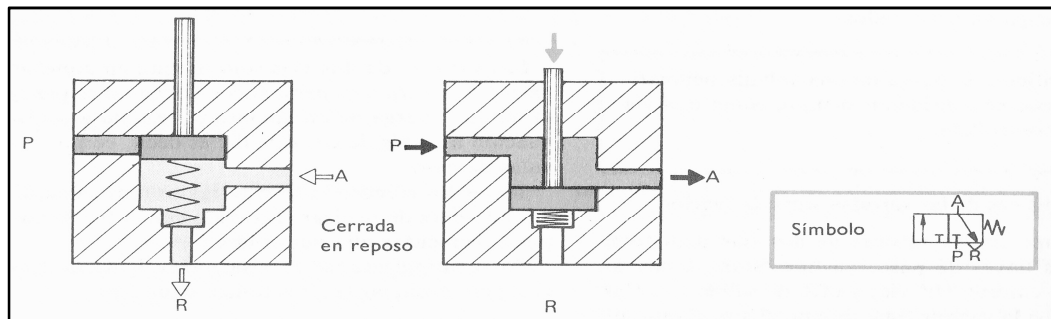


Figura 2.11 Esquema del funcionamiento de una válvula de dos vías.

Las válvulas de dos vías sólo figuran en aquellas partes de los equipos neumáticos donde no es precisa ninguna purga de un aparato conectado a continuación a través de esa válvula; es decir, como válvulas de paso. Todos los cilindros deben purgarse (dar salida al aire) después de realizar el trabajo con el fin de que pueda comenzar una nueva fase.

Por consiguiente, se precisa una válvula de tres vías para accionar las tres tomas siguientes:

1. Vía: toma de la red (P)= alimentación
2. Vía: conducción al consumidor (A)= utilización
3. Vía: purga (R)=escape

En la figura 2.12 se representa en dos posiciones de maniobra el funcionamiento de una válvula de tres vías para *abierta* y *cerrada*. En la posición de purga, la alimentación de la red (*P*) está cerrada y la tubería de utilización (*A*) está unida con la atmósfera exterior a través del escape (*R*). El aire comprimido ya utilizado sale del consumidor hacia el exterior. Una válvula de tres vías es el elemento básico para el accionamiento de un cilindro de simple efecto.

Un cilindro de doble efecto puede accionarse, por ejemplo, con dos válvulas de tres vías o también con una *válvula de cuatro vías* (figura 2.13). En esta válvula se accionan alternativamente dos tuberías hacia el consumidor (*A* y *B*), y como también intervienen la toma de la red (*P*) y el escape (*R* y *S*), se tienen ahora cuatro vías para controlar. Aunque hay dos orificios de purga en la válvula, sólo cuentan como una vía controlada.

Una válvula distribuidora se designa por el número de las vías controladas y por las posiciones de partida. En una válvula de cuatro vías con dos posiciones queda claramente expresadas la función y con ello las posibles aplicaciones. En la terminología normalizada se la designa como válvula 4/2 vías (válvula de 4 vías, 2 posiciones). Sobre la forma de la construcción no se ha dicho nada.

En neumática no son usuales las válvulas con más de cuatro vías, las de 5 y 6 vías se utilizan más en hidráulica.

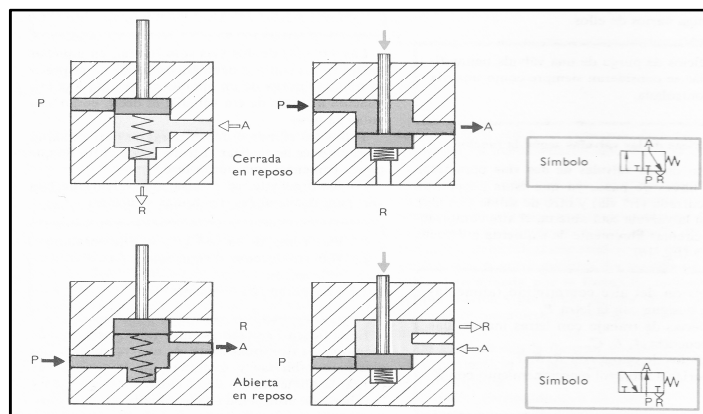


Figura 2.12 Esquema del funcionamiento de una válvula de tres vías. Arriba: Función de apertura. Abajo: función de cierre.

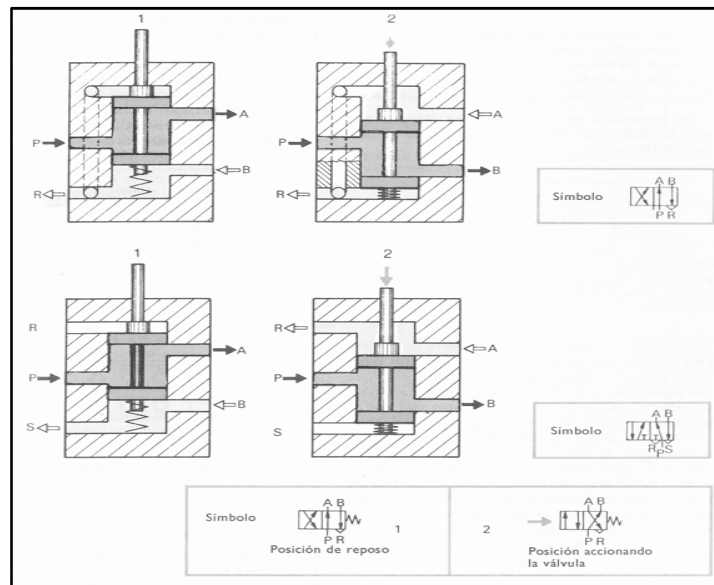


Figura 2.13 Esquema del funcionamiento de una válvula de cuatro vías. a) Con un orificio de purga común. b) Con dos orificios de purga.

2.3.2 Válvulas de bloqueo

Las válvulas de bloqueo cortan el paso del aire comprimido, y de aquí se deriva su nombre. En ellas siempre se bloquea un solo sentido de paso; el otro está libre. Las válvulas de bloqueo están construidas de manera que el aire comprimido actúa sobre la pieza de bloqueo y así refuerza el efecto de cierre. Dentro del grupo de las válvulas de bloqueo, las empleadas de manera preferente en los equipos neumáticos son las siguientes:

- Válvula de retención.
- Válvula selectora (o de doble retención).
- Válvula estranguladora de retención.
- Válvula de purga rápida.
- Válvula de simultaneidad.

2.3.2.1 Válvula de retención

La válvula de bloqueo más sencilla es la de *retención* (figura 2.14), que cierra por completo el paso del aire en un sentido y lo deja libre en el sentido opuesto con la pérdida de presión

más pequeña posible. Tan pronto como la presión de entrada en el sentido de paso aplica una fuerza superior a la del resorte incorporado, abre el elemento de cierre del asiento de la válvula. El bloqueo también puede levantarse por medios mecánicos; por ejemplo, en la base de un enchufe rápido; hay montada una válvula de retención, cuyo bloqueo es levantado por el conector introducido. Como elemento de bloqueo puede incorporarse una bola, un cono, un disco o una membrana.

Las válvulas de retención se incluyen allí donde deben agruparse distintos elementos sin que ninguno influya sobre los otros (figura 2.15) o también dónde, por motivos de seguridad, un elemento sólo pueda ser circulado forzosamente en un sentido (figura 2.16).

En este caso, la resistencia interna en el sentido libre de la válvula de retención debe ser menor que la resistencia en el elemento.

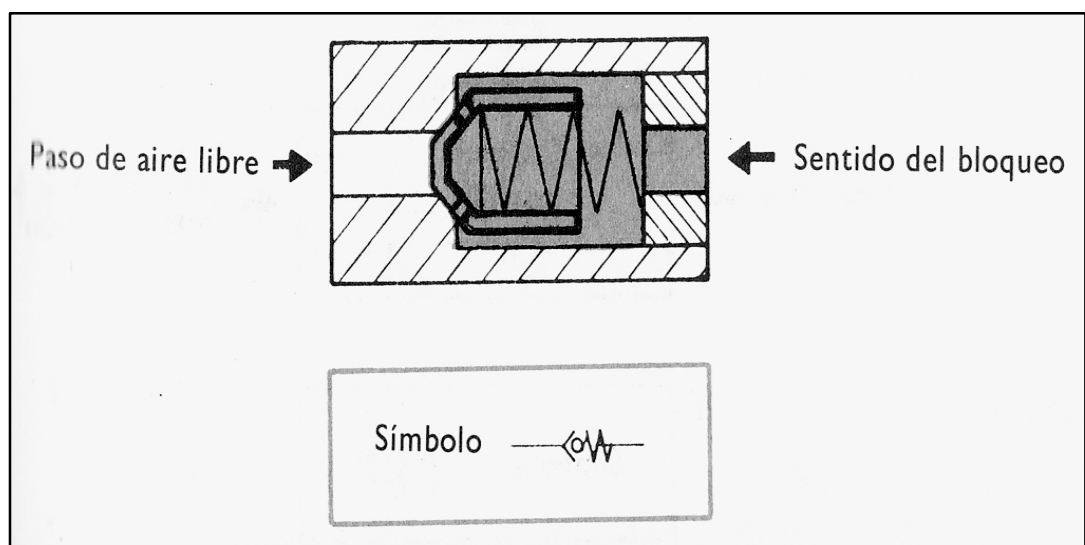


Figura 2.14 Esquema de funcionamiento de una válvula anti retorno.

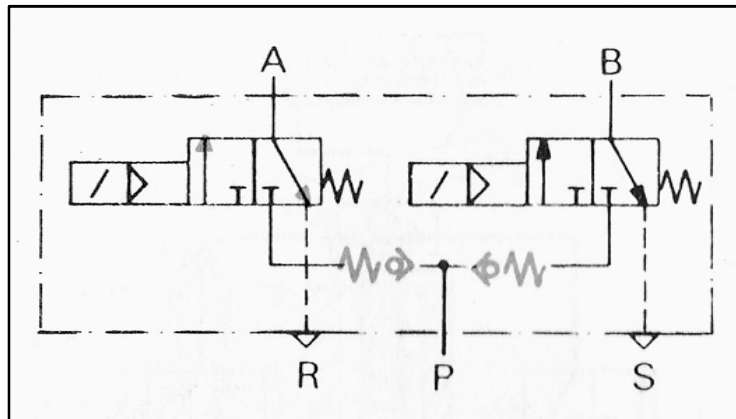


Figura 2.15 Empleo de las válvulas anti retorno para evitar las influencias mutuas.

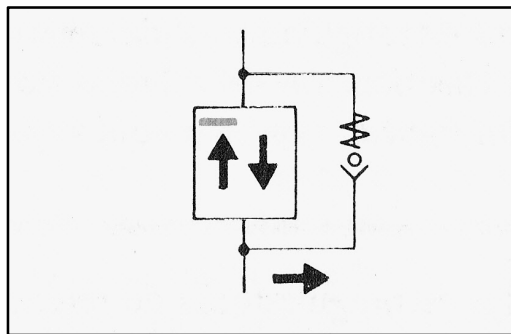


Figura 2.16 Empleo de una válvula anti retorno para puntear un aparato en un sentido de circulación.

2.3.2.2 válvula selectora

La *válvula selectora* (antes conocida como válvula de doble mando o de doble retención) tiene dos entradas y una salida. El efecto de bloqueo actúa siempre en el sentido de la entrada purgada, por lo que queda libre el paso desde la otra entrada hacia la salida (figura 2.17).

Una válvula selectora puede emplearse, por ejemplo, allí donde un elemento motriz (cilindro) o un elemento de mando debe ser accionado desde dos puntos por separado y distantes también entre sí en su emplazamiento. El ejemplo de la figura 2.18 muestra el mando de un cilindro de simple efecto, opcionalmente a través de una válvula manual o a través de una válvula de pedal, siendo naturalmente posibles otras combinaciones.

En los equipos especiales ocurre también que un órgano de mando debe ser accionado desde varios puntos. En este caso se precisan varias válvulas selectoras, siempre una menos que el número de los puntos de accionamiento.

El elemento de bloqueo de la válvula selectora permanece en su posición y por tanto en efecto de bloqueo, hasta que esta entrada es introducida de nuevo.

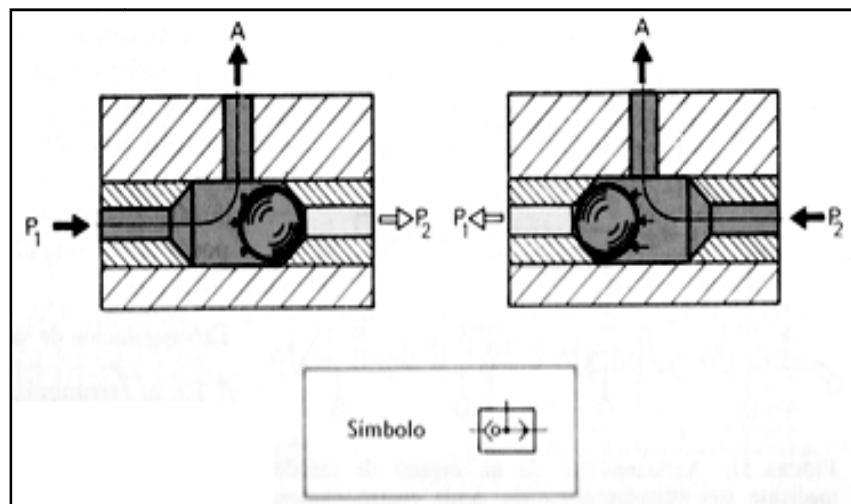


Figura 2.17 Esquema de funcionamiento de una válvula selectora.

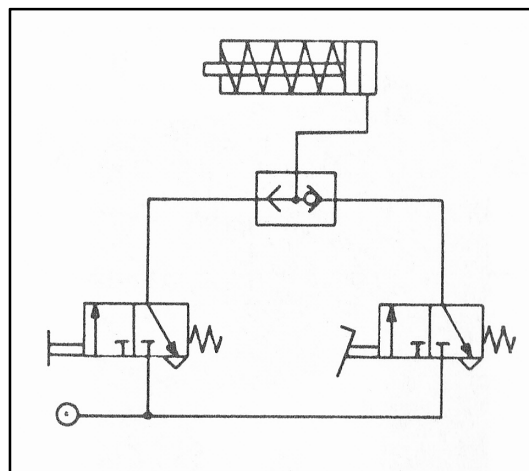


Figura 2.18 Mando de un cilindro mediante una válvula selectora desde dos puntos de accionamiento (a mano o por pedal).

2.3.3 Válvulas de presión

A diferencia de la hidráulica en la neumática se emplean poco las válvulas de presión. La *válvula limitadora de presión* (figura 2.19) impide la elevación de la presión máxima admisible en un sistema. Es un componente de todo equipo productor de aire comprimido, pero apenas se emplea en los equipos neumáticos. La válvula limitadora de presión sirve para seguridad, puesto que al sobrepasarse la presión máxima permitida en el sistema abre hacia la atmósfera libre un orificio y escapa el exceso de presión hasta el valor nominal; cerrándose el orificio de escape por la fuerza de un resorte cuando se alcanza aquel valor nominal.

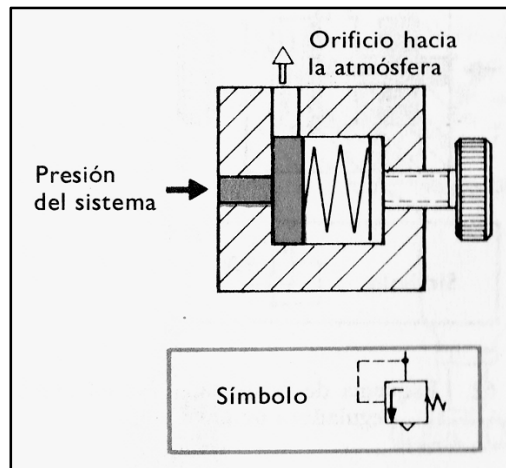


Figura 2.19 Esquema de funcionamiento de una válvula limitadora de presión.

2.3.4 La válvula de secuencia

La válvula de secuencia (Figura 2.20) es completamente similar en su funcionamiento a una válvula limitadora de presión, diferenciándose únicamente en la aplicación. La salida A de una válvula de secuencia permanece bloqueada hasta que se alcanza la presión seleccionada; sólo entonces la válvula se abre y permite circular al aire comprimido desde P hacia A. En los equipos neumáticos, las válvulas de secuencia se prevén en donde deba garantizarse una presión mínima determinada para el funcionamiento y por lo tanto deba evitarse el proceso de la maniobra con una presión inferior. Además, se emplean también donde deben conectarse consumidores con preferencia y los

restantes consumidores sólo deban alimentarse cuando hay suficiente presión. Las válvulas reductoras regulan la presión de trabajo deseada o presión secundaria a un valor constante, que debe ser independiente de la presión primaria y del consumidor. La válvula se abre o se cierra por una membrana, por lo que la regulación de la presión se efectúa a través del movimiento de la membrana.

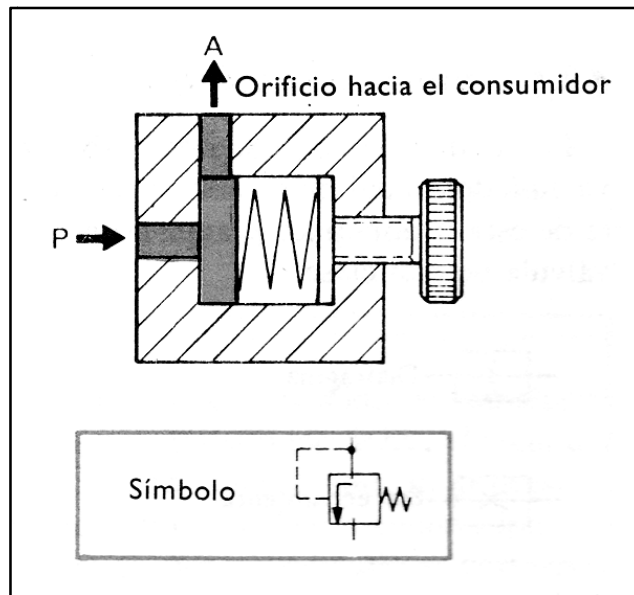


Figura 2.20 Esquema de funcionamiento de una válvula de secuencia.

2.3.5 Válvulas de flujo

La válvula de flujo se designaba anteriormente válvula de caudal, pudiendo deducirse unívocamente de esta denominación anterior la función de válvula de esta clase. La acción sobre el caudal (flujo), se limita exclusivamente al caudal circulante. En neumática solo se emplea para esta finalidad un único representante de esta clase de válvulas, *la válvula de estrangulación*.

Las válvulas de estrangulación pueden tener estrechamientos constantes (figura 2.21) o ajustables. En la práctica sólo se emplean las de esta clase de estrechamiento regulable (estrangulación). La posibilidad de ajuste viene indicada en el símbolo por la flecha. El efecto de estrangulación es el mismo en los dos sentidos de circulación (figura 2.22). La regulación de una válvula de estrangulación en Neumática sólo se realiza manualmente.

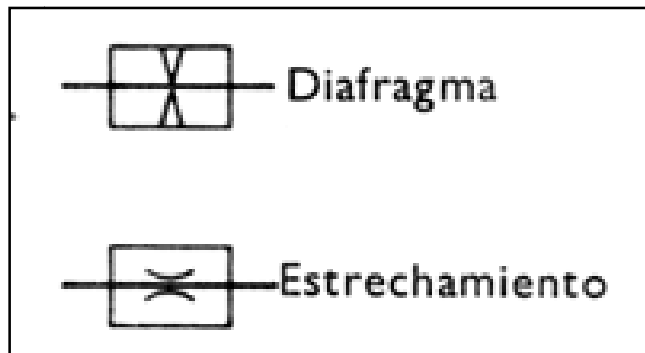


Figura 2.21 Estrangulación constante en una línea (tubería).

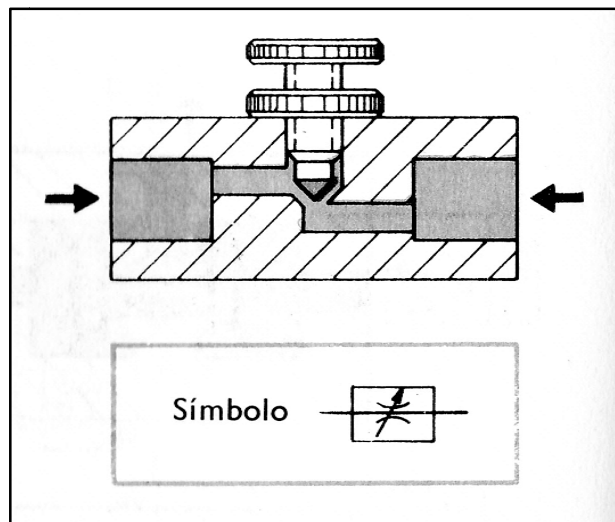


Figura 2.22 Esquema de funcionamiento de una válvula de estrangulación que actúa en los dos sentidos (Regulador bidireccional).

2.4 Accionamiento de las válvulas

Una característica importante de toda válvula es su clase de accionamiento, debido a que, de acuerdo con ello, dentro de la cadena de mando de un equipo neumático se la empleará como elemento emisor de señal, órgano de control o de regulación. En los equipos sencillos la válvula puede ser simultáneamente elemento emisor de señales, órgano de control y órgano de regulación. La clase de accionamiento de una válvula de vías no depende de su función ni de su forma constructiva, sino que el dispositivo accionamiento se agrega a la válvula básica (Figura 2.22). El mismo accionamiento

puede ser montado opcionalmente en una válvula de 2, 3, 4 vías con dos o tres posiciones de maniobra según la clase. En casos excepcionales, una determinada forma de accionamiento va unida por razones técnicas a un determinado tipo de válvulas. La primera clasificación se establece entre accionamiento directo y accionamiento a distancia (o telemando). En el *accionamiento directo*, el órgano de mando está directamente sobre la válvula, por ejemplo todas las clases de accionamiento manuales y mecánicas. Entre las musculares figuran todas las accionadas con la mano o con el pie.

En el ejemplo de la figura 2.23 (una válvula de corredera de 3/2 montada directamente en la tubería) las dos posiciones de maniobra son accesibles mediante ajuste manual. Esta válvula carece de posición de reposo definida; sólo tiene una posición de partida. El símbolo asignado al accionamiento de la válvula es de validez general para el *accionamiento manual* la figura 2.24a es una válvula 3/2 con posición de reposo automática, la válvula sólo está abierta en tanto esté oprimido el pulsador.

La figura 2.24b es una válvula de 4/2 en la que el accionamiento se realiza mediante una palanca manual y en la que la posición de maniobra se mantiene hasta que la palanca se lleve a la otra posición. En el accionamiento por pedal (fig. 2.24c) la válvula permanece invertida en tanto que el pie pise el pedal. En ausencia de accionamiento, la válvula y el pedal pasan a la posición de reposo.

En el ejemplo de la figura 2.24d, ocurre de distinta manera y al pisar el pedal, la válvula pasa de una posición de maniobra a la otra (de *a* a *b*, de *b* a *a*). El elemento fijador dibujado en el órgano de accionamiento simboliza el efecto de retención de la posición de maniobra. Al soltar el pedal, éste pasa a su posición de reposo y la válvula permanece en la posición de maniobra hasta que se pisa de nuevo el pedal.

Accionamiento directo	
Accionamiento muscular	Accionamiento mecánico
Accionamiento a distancia	
Accionamiento neumático	Accionamiento eléctrico

Figura 2.23 Posibilidades de accionamiento de las válvulas distribuidoras.

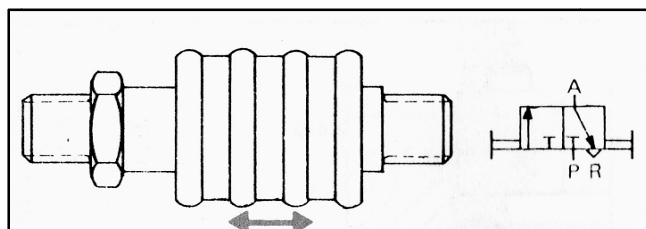


Figura 2.24 Válvula de corredera manual; accionada por fuerza muscular por ambos lados.

Los **accionamientos mecánicos** son necesarios en todas aquellas partes en las que la válvula deba ser accionada por un órgano mecánico del equipo, por ejemplo, levas en el vástago de un cilindro, discos de levas, carros de las máquinas, etc.

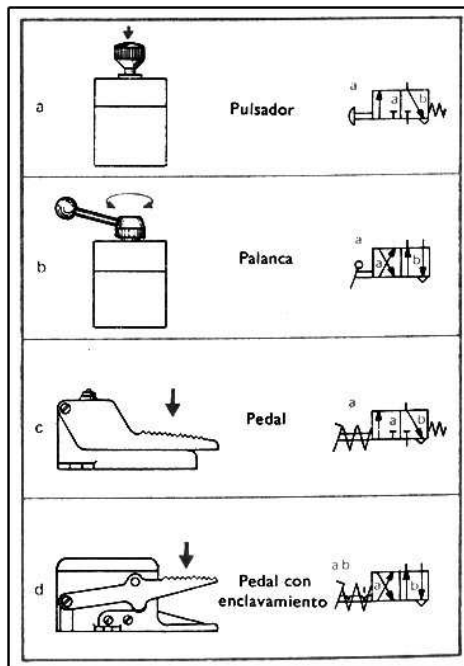


Figura 2.24 Ejemplos de accionamientos musculares.

En el **mando a distancia** de una válvula de vía, está separado de ella (en otro lugar) el órgano accionador (emisor de señales), por lo que en Neumática son usuales los mandos a distancia neumáticos y eléctricos (Figura 2.25).

El accionamiento neumático distingue entre el accionamiento positivo y el negativo (conocidos también pilotaje positivo y pilotaje negativo) según que la inversión de la válvula se efectúe por un impulso de presión (positivo: el aire comprimido alimentado invierte la válvula) o por una reducción de la presión (negativo: el equilibrio de presión establecido en la válvula se altera por dar salida al lado de la inversión). Las válvulas accionadas por medios neumáticos con posición de reposo automática emplean exclusivamente pilotaje positivo, debido a que debe ser vencida la fuerza del resorte. La figura 2.26 reproduce una válvula de 3/2 de accionamiento neumático en la posición de reposo y posición invertida mediante pilotaje positivo en Z. En un accionamiento de acuerdo con la figura 2.26, se dice que es un contacto permanente y la inversión de la válvula perdura en tanto dure la presión en Z.

A diferencia de las anteriores, en las *válvulas de impulsos*, de inversión positiva, o negativa y en las que es suficiente una señal momentánea (de duración mínima establecida) para efectuar la inversión, permaneciendo la válvula en la posición de maniobra adoptada hasta que se presenta un impulso contrario. En la figura 27 se representa en los esquemas de funcionamiento la diferencia entre la inversión positiva o negativa de una válvula.

Las tuberías de mando en las *válvulas de accionamiento neumático* no deben ser demasiado largas, pues en caso contrario se hacen demasiado largos los tiempos de inversión (llenado y purga de las tuberías de control desde el emisor de señal hasta el órgano de mando) y el consumo de aire también se hace demasiado grande.

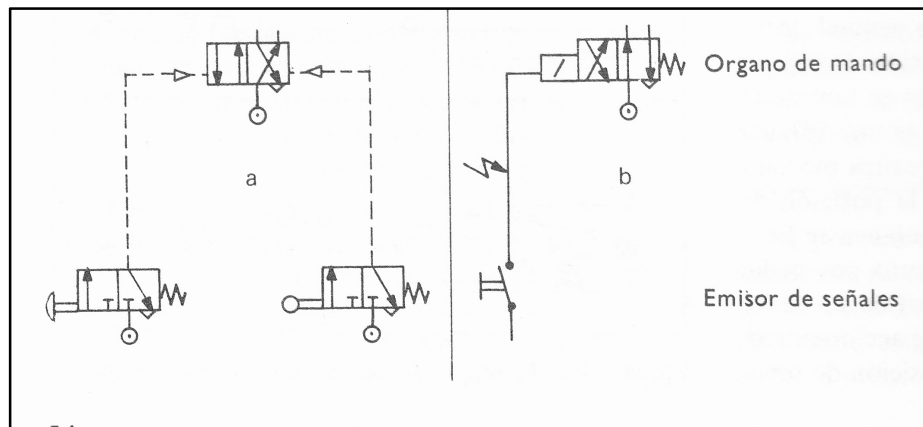


Figura 2.25 Accionamiento a distancia de válvulas distribuidoras. a) Neumático. b) Eléctrico

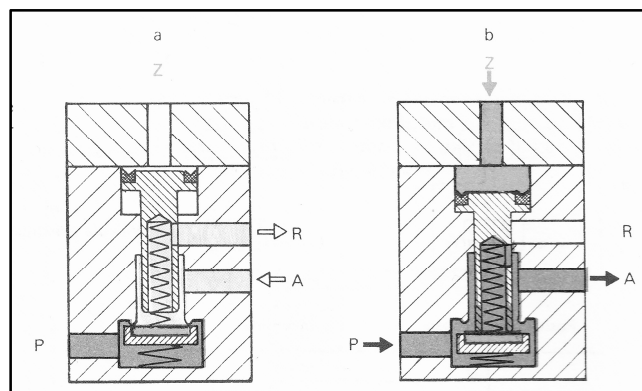


Figura 2.26 Accionamiento neumático de una válvula de asiento de disco 3/2 por impulso positivo de presión en Z. a) En posición de reposo. b) Invertida por señal permanente.

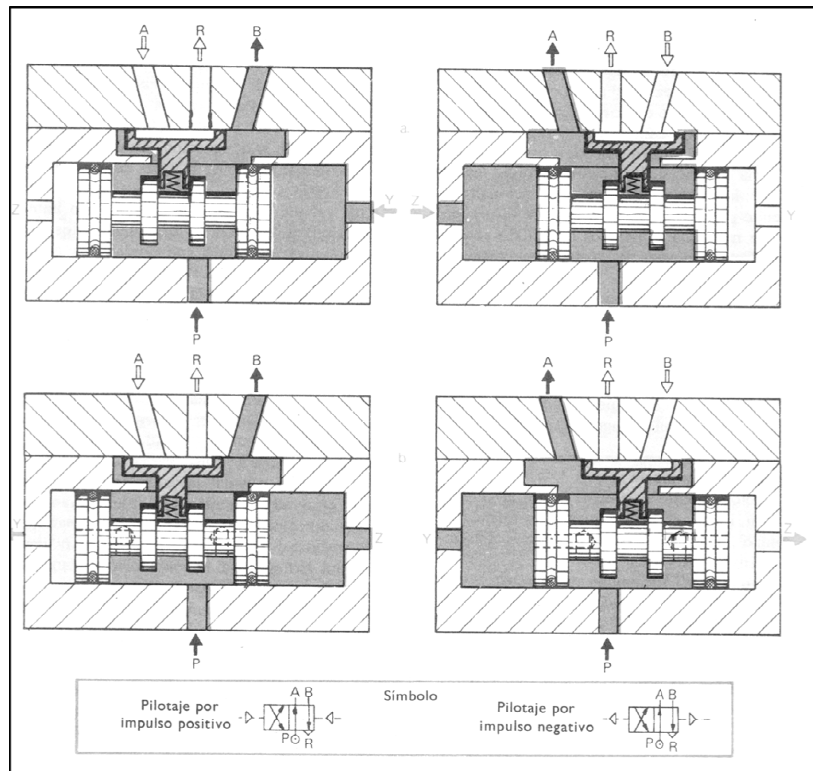


Figura 2.27 Accionamiento neumático de una válvula de cursor plano 4/2 por impulsos en Z e Y. a) Pilotaje positivo por impulso de presión. b) Pilotaje negativo por depresión (purga).

En el *accionamiento eléctrico* de una válvula la longitud de la línea de mando es independiente de la completa eficiencia de funcionamiento, pudiendo preverse líneas de mando de varios centenares de metros. Los tiempos de mando son muy cortos. Como emisores de señales se emplean preferentemente interruptores de final de carrera, pudiendo servir además como emisores de señales todos los dispositivos eléctricos que entregan una señal eléctrica. En ambientes con peligro de explosión, todos los componentes eléctricos deben tener una protección adecuada. La inversión de la válvula se efectúa mediante un electroimán por lo que se les designa también como *válvulas magnéticas*, o *electroválvulas*. Los ejemplos representados hasta ahora de accionamiento de válvulas (figs. 2.22 a 2.27), directo y a distancia, son todos de válvulas accionadas directamente en el sentido de la provocación de la inversión. Puesto que aquí se emplea la misma notación para dos conceptos distintos, debería darse una definición unívoca.

Por desgracia esto no es posible; en el segundo caso para la diferenciación también puede utilizarse la designación *válvula accionada directamente* pero también se habla de una

válvula de mando previo.

Una válvula de mando previo, también llamada válvula servopilotada, está formada por dos válvulas montadas formando una unidad. La primera válvula sirve exclusivamente para la inversión de la segunda, que es la válvula principal. En vez de dibujar dos válvulas en el esquema (figura 2.28a), en la representación simplificada se dibuja la primera válvula (válvula de mando) incluida en el accionamiento de la válvula principal (figura 2.28b). En el accionamiento (eléctrico en el ejemplo) se adopta un nuevo accionamiento neumático, que según la función también puede ser negativo (figura 2.28c). Para diámetros nominales grandes se construyen y se emplean casi exclusivamente válvulas de servomando, debido a que en estas válvulas (aprox. a partir de 6 mm) sería demasiado considerable la fuerza de accionamiento; esto es válido especialmente para las electroválvulas. La figura 2.29 muestra el funcionamiento de una electroválvula con servomando. La fuerza de accionamiento eléctrica para la inversión de la válvula piloto puede ser así muy pequeña y la inversión propiamente considerada de la válvula principal se realiza por la presión de trabajo procedente del sistema neumático. Además de las válvulas magnéticas, también pueden actuar otros accionamientos (p.ej. manuales y mecánicos) sobre la válvula principal a través de un mando previo.

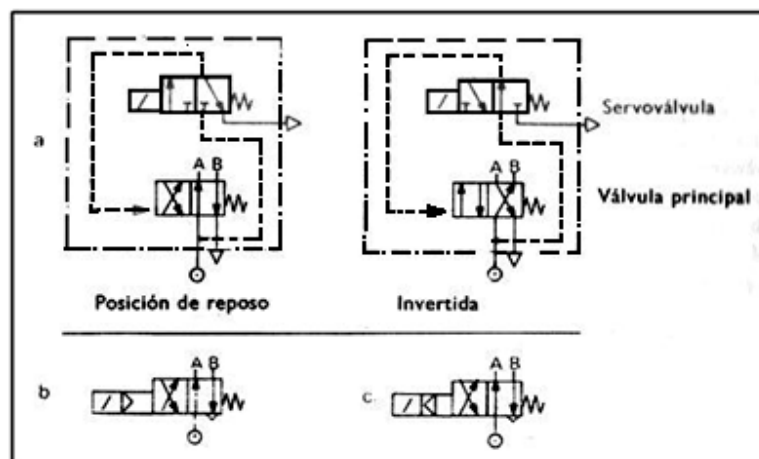


Figura 2.28 Electroválvula 4/2 servopilotada. a) La válvula principal es accionada por la servoválvula. b) Representación simbólica de una electroválvula 4/2 de servomando de acuerdo con a); la inversión se realiza por pilotaje positivo. c) La inversión se realiza por pilotaje negativo.

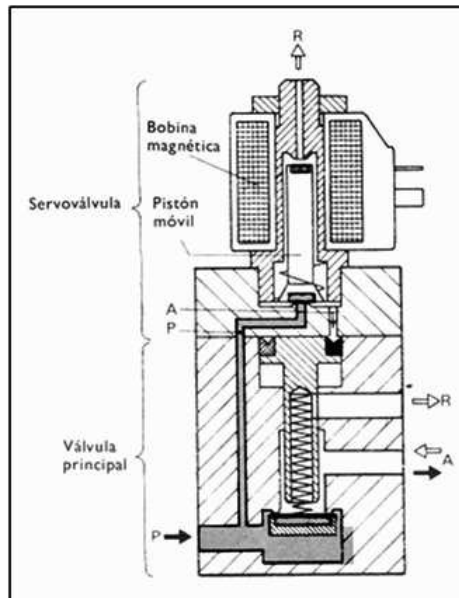


Figura 2.29 Esquema del funcionamiento de una electroválvula 3/2 con servomando.

En el accionamiento neumático esto no es necesario por regla general, debido a que normalmente se realiza la inversión con la presión del aire. Como una particularidad en el accionamiento de las válvulas, debe presentarse una válvula accionada neumáticamente cuyo órgano de accionamiento permite simultáneamente una función de tiempo (figura 2.30). En la línea de mando Z entra aire comprimido a través de una válvula de estrangulación (1) en un acumulador.

De acuerdo con el ajuste del tornillo, afluye más o menos aire en un intervalo de tiempo al acumulador en el que, al cabo de un cierto tiempo, alcanza una presión determinada. La inversión de la válvula sólo se efectúa si se ha alcanzado la presión de mando necesaria. El tiempo ajustable necesario para el llenado del acumulador es el de retardo entre la entrada de la señal y la inversión de la válvula. Para la reposición de la válvula debe purgarse la línea de mando. El aire del acumulador escapa rápidamente a través de la retención en la válvula de bloqueo, y la válvula pasa a su posición de reposo. El esquema de funcionamiento (figura 2.30) muestra una válvula retardadora que trabaja como cerrada, siendo también posible la ejecución abierta en reposo (Figura 2.31)

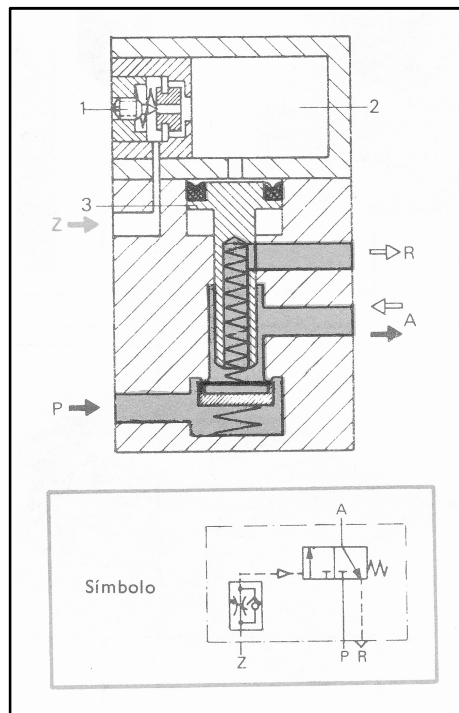


Figura 2.30 Esquema de funcionamiento de un temporizador 3/2 que funciona en apertura (normalmente cerrado) 1) Estrangulación graduable. 2) Espacio de acumulación. 3) Pistón de mando.

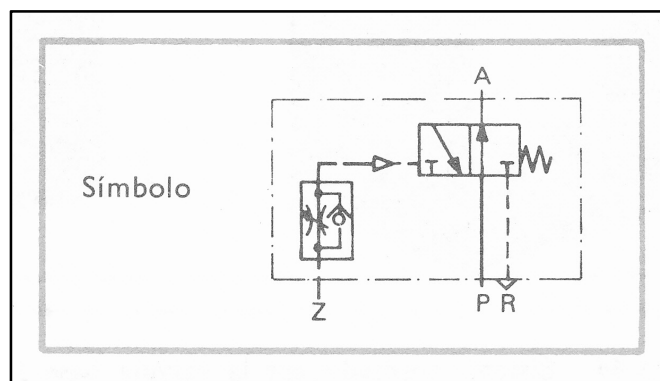


Figura 2.31 Representación simbólica de un temporizador 3/2, que funciona en cierre normalmente abierto.

2.5 Motores de aire comprimido

Cuando normalmente se habla de un motor, se hace referencia al motor de combustión o al motor eléctrico. En los dos casos se trata de una rotación, aún cuando en el primero de ellos ésta sólo sea posible con la ayuda de órganos de transmisión, biela articulada y cigüeñal, mediante los cuales el movimiento rectilíneo del émbolo es transformado en un movimiento de rotación.

Para un mecanismo que genera un movimiento de vaivén apenas se emplea el concepto de *motor* a pesar de que esta designación define a una máquina que transforma energía en trabajo mecánico. Así pues, en Neumática sólo se habla de un motor si es generado o impartido un movimiento de rotación. Los motores de aire comprimido generan un movimiento de rotación que puede transmitirse desde un eje giratorio, igual que en los otros tipos de motores.

En el motor de aire comprimido se transforma energía neumática en trabajo mecánico, al igual que en el cilindro de aire comprimido. El proceso se desarrolla de modo inverso al de la compresión. Los tipos de motores de aire comprimido se corresponden en principio con el de los compresores, aunque en otras dimensiones y formas. En Neumática se emplean principalmente motores de aire comprimido del tipo de émbolo, de aletas y de rueda dentada. Motores del tipo de émbolo los hay en los modelos de émbolo radial y émbolo axial.

Los *motores de émbolo radial* (figura 2.32) se limitan principalmente a las máquinas de grandes potencias debido a que por principio deben construirse ejecuciones de varios cilindros a causa de una marcha más regular. La figura 2.33 representa el diagrama de fuerzas de un motor de émbolo radial con cinco cilindros. Los *motores de émbolo axial* (figura 2.34) se construyen siempre con cinco o más émbolos (número impar).

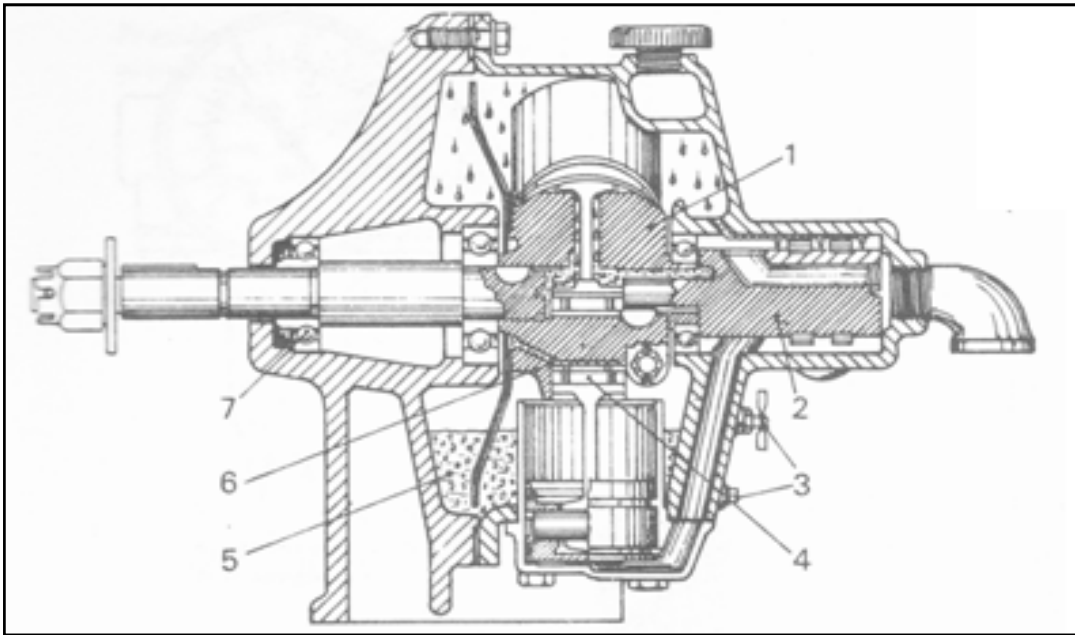


Figura 2.32 Sección de un motor de pistón radial: 1. Eje del cigüeñal 2. Válvula distribuidora rotativa de aire comprimido 3. Tornillo de rellenado de aceite y de purga 4. Cojinete 5. Baño de aceite 6. Flujo de aceite centrifugo 7. Cojinete del eje motriz.

Los émbolos dispuestos en sentido axial generan el movimiento de rotación mediante un disco oscilante.

Para fines de mando neumático se instalan preferentemente *motores de aletas* (figura 2.35). Estos motores de presión son de construcción análoga a la de los compresores a rotación. La presión expande su energía bajo el suministro y produce la rotación con un par motor determinado y la correspondiente expansión en la atmósfera. El rotor está igualmente montado excéntricamente en la carcasa.

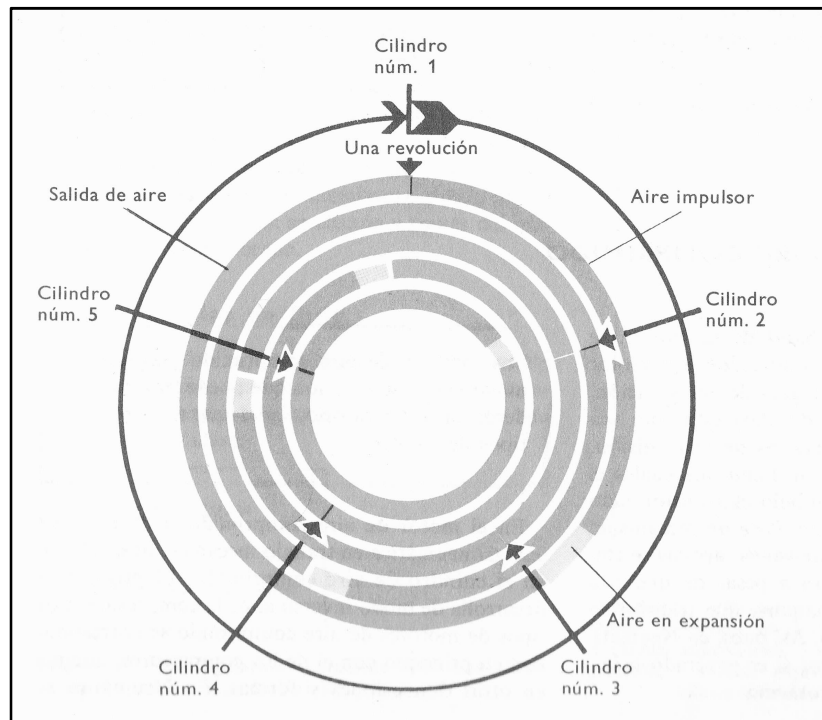


Figura 2.33 Diagrama de las coincidencias (acción de fuerza) de un motor de pistón radial de 5 cilindros (Deutsche Gardner Denver GmbH)

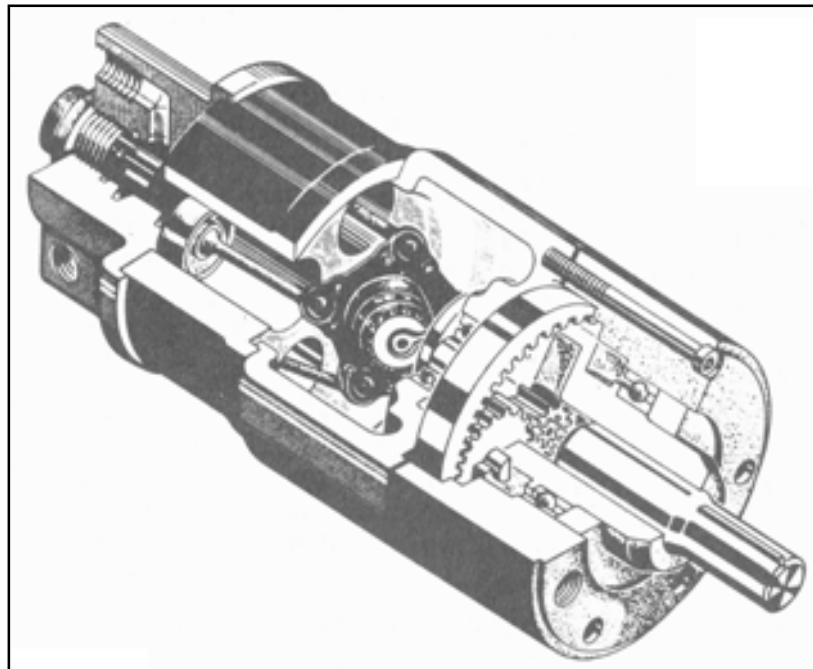


Figura 2.34 Sección de un motor de pistón axial con 5 cilindros.

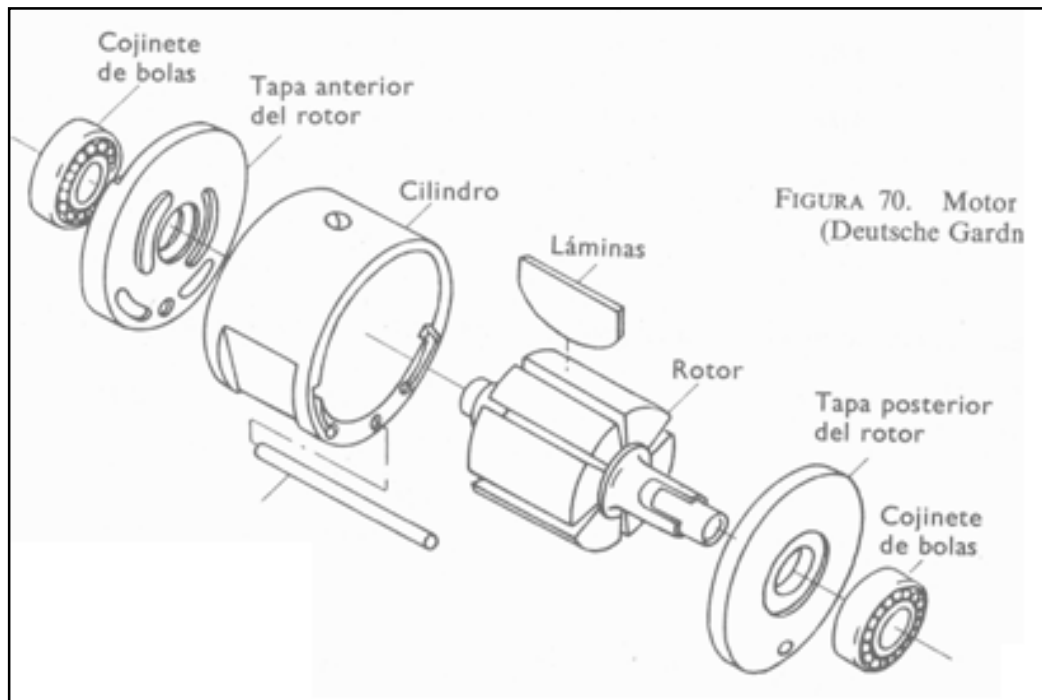


Figura 2.35 Motor de láminas en despiece.

2.6 Motores eléctricos

2.6.1 Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del motor asíncrono se basa en la creación de una corriente inducida en un conductor cuando éste corta las líneas de fuerza de un campo magnético, de ahí el nombre de *motor de inducción*. La acción combinada de la corriente en el inducido y el campo magnético crea una fuerza motriz en el rotor del motor.

Supongamos una espira ABCD en cortocircuito, situada en un campo magnético B, y que puede girar alrededor de un eje xy (figura 2.36). Si, por ejemplo, hacemos girar el campo magnético en el sentido de las agujas del reloj, la espira queda sometida a un flujo variable y se crea en ella una fuerza electromotriz inducida que origina una corriente inducida i (ley de Faraday). Por la ley de Lenz, el sentido de la corriente es tal que se opone, mediante su acción electromagnética, a la causa que la ha creado.

Cada uno de los dos conductores queda por tanto sometido a una fuerza F de Laplace (de Lorentz, para los Anglosajones), de sentido opuesto a su desplazamiento relativo respecto al campo inductor.

La regla de los tres dedos de la mano derecha (acción del campo sobre la corriente, (figura 2.36 b) permite definir fácilmente el sentido de la fuerza F aplicada a cada conductor. El pulgar se coloca en el sentido del campo del inductor. El índice indica el sentido de la fuerza. El dedo corazón o de en medio se coloca en el sentido de la corriente inducida. Por tanto, la espira queda sometida a un par que provoca su rotación en el mismo sentido que el campo inductor, llamado campo giratorio. Por tanto también, la espira gira y el par electromotor se equilibra con el par resistente.

2.6.1.1 Creación del campo giratorio

Tres arrollamientos, geoméricamente defasados 120° , se alimentan cada uno con una de las fases de la red trifásica de corriente alterna (figura 2.37). Los arrollamientos están recorridos por corrientes alternas que tienen también el mismo desfase eléctrico y que producen cada una un campo magnético alterno senoidal. Este campo, siempre dirigido según el mismo eje, es máximo cuando la corriente en el arrollamiento es máxima.

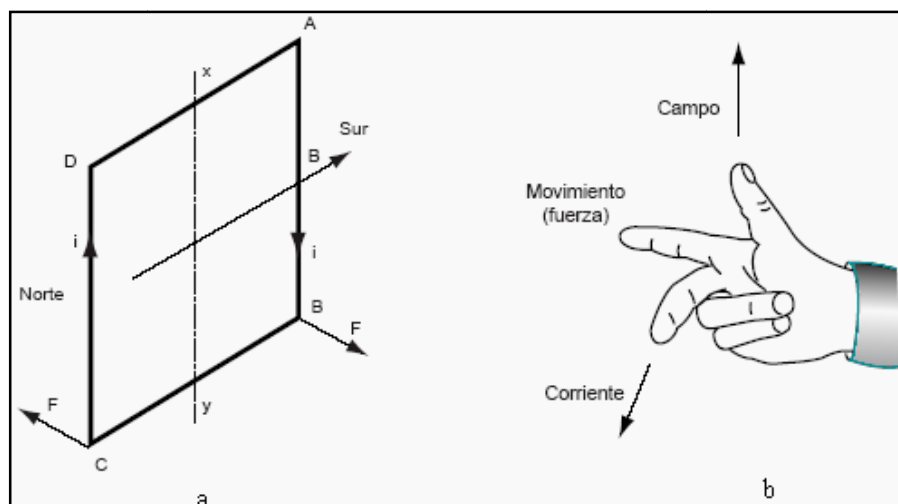


Fig. 2.36 a) Creación de una corriente inducida en una espira en cortocircuito. b) Regla de los tres dedos de la mano derecha para encontrar la dirección de la fuerza.

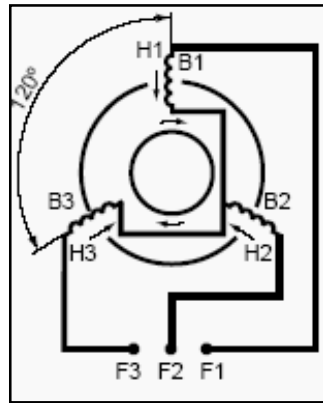


Fig. 2.37 Principio de funcionamiento del motor síncron trifásico.

El campo generado por cada arrollamiento es la resultante de dos campos que giran en sentido inverso y que tienen cada uno un valor constante que es la mitad del valor del campo máximo. En un instante dado, t_1 , de cualquier período (figura 2.38), los campos producidos por cada arrollamiento pueden representarse como sigue:

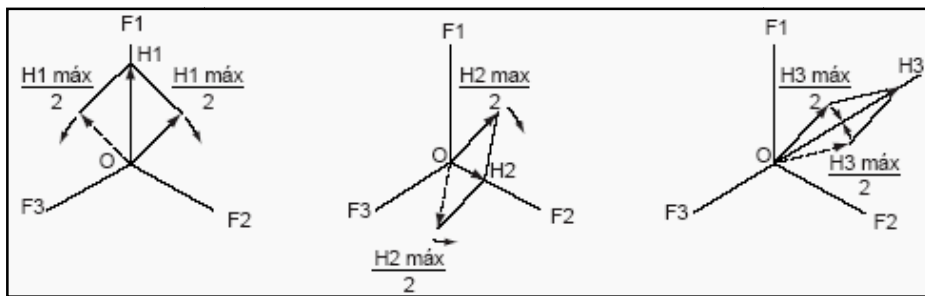


Figura 2.38 Campos creados por las tres fases.

- El campo H1 disminuye. Los 2 campos que lo componen tienen tendencia a alejarse del eje OH1,
- El campo H2 aumenta. Los 2 campos que lo componen tienen tendencia a acercarse al eje OH2,
- El campo H3 aumenta. Los 2 campos que lo componen tienen tendencia a acercarse al eje OH3.

El flujo correspondiente a la fase 3 es negativo. Por tanto, el campo tiene sentido opuesto a la bobina.

Superponiendo los tres diagramas, se comprueba que:

- Los tres campos que giran en sentido opuesto a las agujas del reloj, están desfasados 120° y se anulan,
- Los tres campos que giran en el sentido de las agujas del reloj se superponen. Estos campos se suman para formar el campo giratorio de amplitud constante $3H_{\text{máx}}/2$. Es un campo con un par de polos.

Este campo realiza una vuelta completa durante un período completo de la corriente de alimentación. Su velocidad es función de la frecuencia de la red (f), y del número de pares de polos (p). Se llama *velocidad de sincronismo*.

2.6.1.2 Deslizamiento

No puede existir par motor si no existe corriente inducida circulando por la espira. Este par depende de la corriente que circula por la espira, y no puede existir si no existe variación de flujo en la espira. Por tanto, es necesario tener una diferencia de velocidad entre la espira y el campo giratorio. Por este motivo, el motor eléctrico que funciona según el principio que estamos describiendo se denomina *motor asíncrono*. La diferencia entre la velocidad de sincronismo (N_s) y la de la espira (N) se denomina *deslizamiento* (g) y se expresa en % de la velocidad de sincronismo.

$$g = [(N_s - N) / N_s] \times 100$$

Durante el funcionamiento, la frecuencia de la corriente rotórica se obtiene multiplicando la frecuencia de alimentación por el deslizamiento.

Por tanto, durante el arranque, la frecuencia de corriente rotórica es pues máxima.

El deslizamiento en régimen permanente es variable y depende de la carga del motor y del valor de la tensión de alimentación que se le aplica: es tanto menor cuanto menor es la carga, y aumenta si el motor está subalimentado.

2.6.1.3 Velocidad de sincronismo

La velocidad de sincronismo de los motores asíncronos trifásicos es proporcional a la frecuencia de la corriente de alimentación e inversamente proporcional al número de pares de polos que forman el estator.

Por ejemplo:

$$N_s = 60 f/p$$

Siendo:

Ns: velocidad de sincronismo en rpm, f: frecuencia en Hz,

p: número de pares de polos.

En la tabla 2.7 se indican las velocidades del campo giratorio o velocidades de sincronismo, en función del número de pares de polos, para cada una de las frecuencias industriales de 50 Hz y 60 Hz y también para la de 100 Hz.

En la práctica no siempre es posible aumentar la velocidad de un motor asíncrono alimentándolo a una frecuencia superior a la prevista, aún adaptando la tensión. En efecto, se necesita comprobar si su diseño mecánico y eléctrico lo permiten. Hay que indicar que debido al deslizamiento, las velocidades de rotación en carga de los motores asíncronos son ligeramente inferiores a las velocidades de sincronismo indicadas en la tabla.

Número de polos	Velocidad de rotación en rpm		
	50 Hz	60 Hz	100 Hz
2	3000	3600	6000
4	1500	1800	3000
6	1000	1200	2000
8	750	900	1500
10	600	720	1200
12	500	600	1000
16	375	540	750

Tabla 2.7 Velocidades de sincronismo en función del número de polos y de la frecuencia de la corriente.

2.6.2 Constitución

Un motor asíncrono trifásico de jaula tiene dos partes principales: un inductor o estator y un inducido o rotor.

2.6.2.1 El estator

Es la parte fija del motor. Una carcasa de acero o aleación ligera rodea una corona de chapas delgadas (del orden de 0,5 mm de grosor) de acero al silicio. Las chapas están aisladas entre sí por oxidación o mediante barnices aislantes. El laminado del circuito magnético reduce las pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault.

Las chapas tienen unas ranuras en las que se colocan los arrollamientos estáticos destinados a producir el campo giratorio (tres arrollamientos en caso de un motor trifásico).

Cada arrollamiento está constituido por varias bobinas. La forma de conexión de estas bobinas entre sí determina el número de pares de polos del motor, y por tanto, su velocidad de rotación.

2.6.2.2 El rotor

Es el elemento móvil del motor. Igual que el circuito magnético del estator, está constituido por un apilamiento de chapas finas aisladas entre sí y forman un cilindro claveteado alrededor del árbol o eje motor. Este elemento, por su tecnología, permite distinguir dos familias de motores asíncronos: uno, cuyo rotor se denomina *de jaula*, y otro, cuyo rotor, bobinado, se denomina de anillos.

Los tipos diferentes de rotor

El rotor de jaula

Existen varios tipos de rotor de jaula, cuyo diseño puede verse en el ejemplo de la figura 2.39

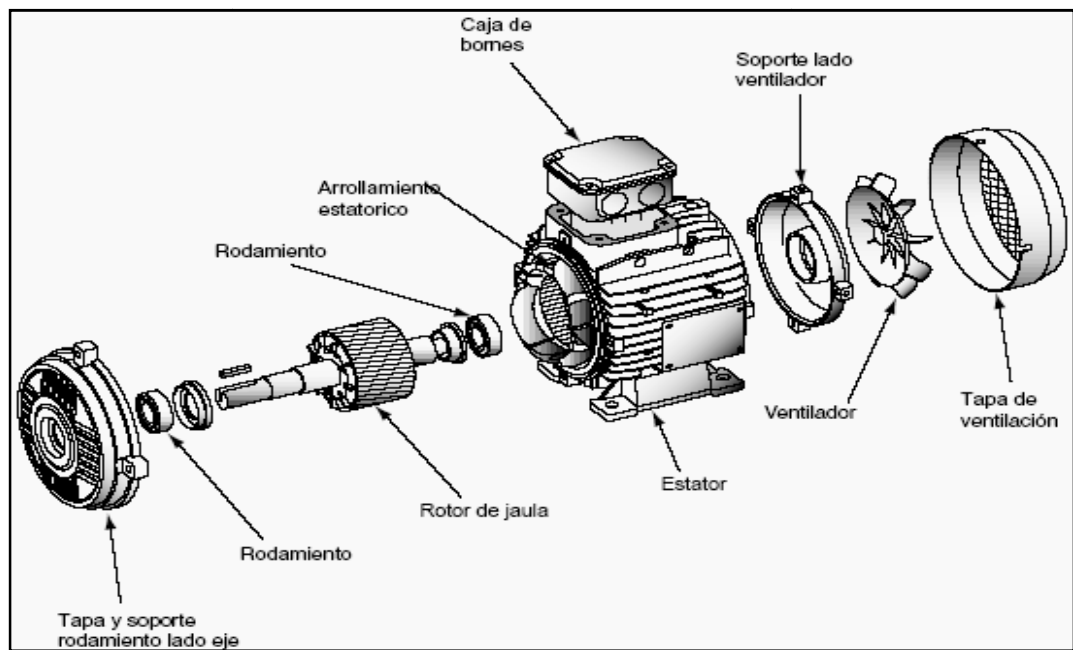


Figura 2.39 Despiece de un motor de jaula.

Se citan estos motores empezando por los menos frecuentes:

Rotor de jaula resistente

El rotor resistente suele ser de jaula simple (ver más adelante la definición de motor de jaula simple). La jaula está cerrada por dos anillos resistentes (aleación especial, poca sección, anillos de acero inoxidable).

Estos motores, a par nominal, tienen un gran deslizamiento. Su par de arranque es elevado, y la corriente de arranque baja (figura 2.40). El rendimiento es bajo debido a las pérdidas en el rotor. Estos motores se utilizan principalmente en aplicaciones en las que es conveniente que exista deslizamiento para variar la velocidad en función del par, por ejemplo:

- En el caso de varios motores unidos mecánicamente entre los que debe quedar repartida la carga, como por ejemplo, los trenes de rodillos de una laminadora, o el arrastre de una grúa puente;
- La función de enrollar-desenrollar con motores Alquist diseñados para este fin;
- Necesidad de un gran par de arranque con una corriente de llamada limitada (polipastos o cintas transportadoras).

Puede variarse su velocidad cambiando la tensión, pero los convertidores de frecuencia van haciendo desaparecer esta aplicación. Aunque todos los motores son auto-ventilados, ciertos motores con rotor de caja resistente son motoventilados (motorización separada de su ventilador).

Rotor de jaula simple

En los huecos o muescas dispuestas a lo largo del rotor (en la periferia del cilindro constituido por la pila de láminas) se colocan conductores conectados en cada extremo a una corona metálica; estos conductores desarrollan el par motor generado por el campo giratorio. Para que el par sea homogéneo, los conductores están ligeramente inclinados respecto al eje del motor.

El conjunto tiene el aspecto de una jaula de ardilla, de ahí el nombre de este tipo de rotor.

Generalmente, la jaula de ardilla está completamente moldeada (únicamente se fabrican estas jaulas insertando los conductores en las ranuras en el caso de motores muy grandes). El aluminio se inyecta a presión, y las aletas de refrigeración, colocadas en la misma operación, aseguran el cortocircuito de los conductores del rotor.

Estos motores tienen un par de arranque relativamente bajo y la corriente de arranque es muy superior a la nominal (figura 2.40).

Por el contrario, tienen un deslizamiento muy pequeño a par nominal.

Se utilizan principalmente para grandes potencias para mejorar el rendimiento de las instalaciones con bombas y ventiladores. Se asocian también a los convertidores de frecuencia de velocidad variable, con lo que los problemas de par y de corriente de arranque quedan completamente resueltos.

Rotor de jaula doble

Consta de dos jaulas concéntricas, una exterior, de poca sección y gran resistencia y otra interior de mayor sección y menor resistencia.

Al empezar el arranque, las corrientes rotóricas son de frecuencia elevada, y, por el efecto pelicular que se produce, la totalidad de la corriente rotórica circula por la periferia del rotor y por tanto por una sección reducida de conductores. Así, al principio del

arranque, siendo todavía las corrientes de frecuencia elevada, la corriente no circula más que por la caja exterior. El par producido por la jaula exterior resistente es importante y con baja corriente de llamada (figura 2.40).

Al final del arranque, la frecuencia en el rotor disminuye y resulta más fácil la circulación del flujo por la jaula interior. El motor se comporta entonces aparentemente como si hubiera sido construido como una única jaula de baja resistencia. En régimen permanente, la velocidad es solamente un poco menor que la de un motor de jaula simple.

Rotor de ranuras profundas

Es la versión estándar. Los conductores rotóricos se moldean en las ranuras del rotor, que tienen forma trapezoidal, con el lado menor del trapecio situado hacia el exterior del rotor. El funcionamiento es similar al de un motor de doble jaula: la intensidad de corriente rotórica varía en función inversa de su frecuencia. Así:

- Al principio del arranque, el par es mayor y la corriente menor,
- En régimen permanente, la velocidad es sensiblemente igual a la de un motor de jaula simple.

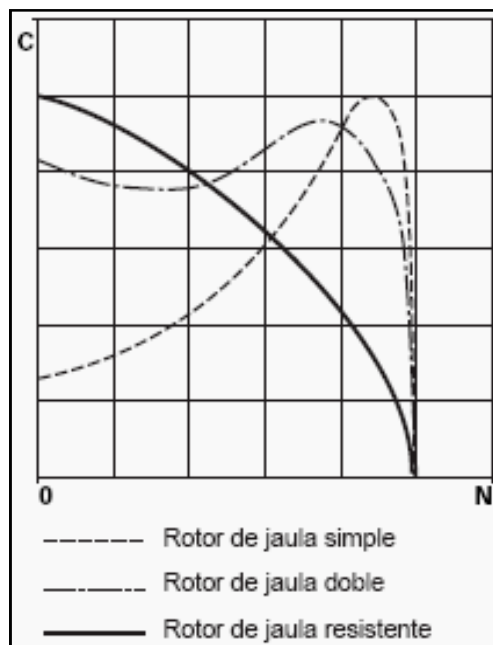


Figura 2.40 Curvas par-velocidad de cada uno de los tipos de rotor de jaula.

Motor de rotor bobinado (rotor con anillos)

En las ranuras practicadas en la periferia del rotor se colocan unos bobinados idénticos a los del estator (figura 2.41). Generalmente el rotor es trifásico. Un extremo de cada uno de los arrollamientos se conecta a un punto común (conexión estrella). Los extremos libres pueden conectarse o a un conector centrífugo o a tres anillos de cobre, aislados y que giran solidarios con el rotor. Sobre estos anillos frotan unas escobillas, a base de grafito, conectadas al dispositivo de arranque.

En función del valor de las resistencias insertadas en el circuito rotórico, este tipo de motor puede desarrollar un par de arranque que llega hasta 2,5 veces el par nominal.

La corriente de arranque es sensiblemente proporcional al par desarrollado en el eje del motor. Esta solución deja paso progresivamente a los sistemas electrónicos asociados a motores de jaula estándar. En efecto, estos últimos permiten resolver los problemas de mantenimiento (sustitución de las escobillas de alimentación del rotor gastadas, y mantenimiento de las resistencias de arranque), reducir la energía disipada en las resistencias y mejorar de manera importante el rendimiento de la instalación.

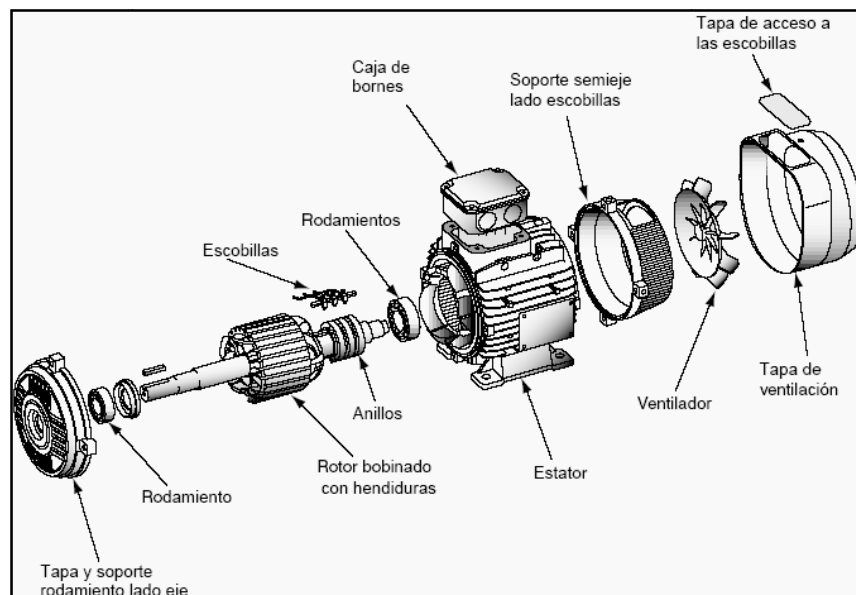


Figura 2.41 Despiece de un motor de rotor con anillos.

2.6.3 Motores asíncronos monofásicos

El motor asíncrono monofásico, aunque menos utilizado en la industria que su homólogo trifásico, representa sin embargo una parte muy importante de los motores utilizados para pequeñas potencias y en aplicaciones domésticas que utilizan la red monofásica de 230 V.

A igual potencia, es más voluminoso que un motor trifásico. Por otra parte, su rendimiento y su coseno ϕ son mucho menores que en el caso del motor trifásico y varían considerablemente en función de la potencia y del constructor. Los motores monofásicos hasta una decena de kW son de normal utilización en los Estados Unidos.

Constitución

El motor monofásico, como el motor trifásico, está compuesto de dos partes: el estator y el rotor.

El estator

Se compone de determinado número de pares de polos y sus bobinados que se conectan a la red de alimentación.

El rotor

Es normalmente de jaula de ardilla.

Principio de funcionamiento

Consideremos un estator que tiene dos arrollamientos conectados a la red de alimentación L1 y N (figura 2.42).

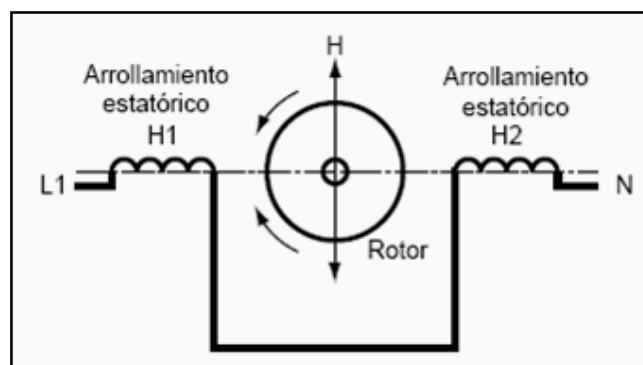


Figura 2.42 Principio de funcionamiento de un motor asíncrono monofásico.

La corriente alterna monofásica crea en el rotor un campo magnético alterno, simple, H que es la superposición de dos campos giratorios H_1 y H_2 del mismo valor y de sentido contrario. Con el motor parado y el estator alimentado, estos campos tienen el mismo deslizamiento respecto al rotor y producen por tanto dos pares iguales y opuestos. El motor no puede arrancar. Cualquier impulso mecánico en el rotor desequilibra estos deslizamientos opuestos. Uno de los pares disminuye mientras que el otro aumenta. El par resultante provoca el inicio del arranque del motor en el sentido al que ha sido empujado. Para resolver este problema de par durante el arranque, se coloca en el estator un segundo arrollamiento defasado en 90° . Esta fase auxiliar se alimenta mediante un sistema que provoque un defasaje (condensador o bobina); una vez efectuado el arranque esta fase auxiliar puede desconectarse (Un motor trifásico puede también utilizarse en monofásico; el condensador de arranque se conecta en serie o en paralelo con el arrollamiento no utilizado).

2.6.4 Los motores síncronos

Constitución

El motor síncrono, como el asíncrono, se compone, de un estator y de un rotor separado por un entrehierro. La diferencia consiste en que el flujo en el entrehierro no está creado por una componente de la corriente estatórica: lo crean unos imanes permanentes o la corriente del inductor suministrada por una fuente de corriente continua exterior que alimenta el arrollamiento situado en el rotor.

El estator

El estator consta de una carcasa y un circuito magnético constituidos generalmente por unas láminas de acero al silicio y un bobinado trifásico similar al de un motor asíncrono alimentado en corriente alterna trifásica para producir el campo giratorio.

El rotor

El rotor tiene unos imanes o unas bobinas de excitación recorridas por una corriente continua que crean unos polos, norte y sur intercalados. El rotor, a diferencia de las máquinas asíncronas gira sin deslizamiento a la velocidad del campo giratorio.

Por tanto, existen dos tipos de motores síncronos: los motores de imán permanente y los motores de rotor bobinado.

En los primeros, el rotor es un imán permanente, generalmente de tierras raras (figura 2.43), para obtener un campo elevado en el mínimo volumen. El estator tiene arrollamientos trifásicos. Estos motores, para efectuar aceleraciones muy rápidas, pueden absorber corrientes de sobrecarga importantes. Van siempre asociados a un variador de velocidad; estos conjuntos motor-variador se destinan a mercados específicos como el de los robots o las máquinas-herramienta para los que se necesitan motores de poco volumen, con aceleraciones importantes y una ancha banda pasante.

Los otros tipos de máquinas síncronas tienen el rotor bobinado, son reversibles y pueden funcionar o como generadores (alternadores) o como motores. Durante mucho tiempo estas máquinas se han utilizado como alternadores. Su uso como motores se reducía a aplicaciones específicas en las que era necesario mantener la carga a velocidad fija a pesar de variaciones relativamente importantes del par resistente.

El desarrollo de los convertidores de frecuencia directos (del tipo ciclo convertidor) o indirectos, funcionando en conmutación natural gracias a la aptitud de las máquinas síncronas de proporcionar potencia reactiva, ha permitido fabricar máquinas eléctricas de velocidad variable, fiables y particularmente competitivas respecto a otras soluciones cuando la potencia sobrepasa el megavatio.

Aunque se pueden encontrar motores síncronos de utilización industrial en la gama de potencias de 150 kW a 5 MW, es más allá de los 5 MW donde éstos se encuentran asociados a variadores de velocidad, puesto que es prácticamente imposible encontrar, con estas potencias, máquinas eléctricas que utilicen motores síncronos.

Características de funcionamiento

El par motor de la máquina síncrona es proporcional a su tensión en bornes; en cambio, en la máquina asíncrona es proporcional al cuadrado de esta tensión.

A diferencia del motor asíncrono, puede trabajar con un factor de potencia igual o muy próxima a la unidad.

El motor síncrono, respecto al motor asíncrono, tiene algunas ventajas especiales por lo que se refiere a su alimentación mediante una red de tensión y frecuencia constantes:

- La velocidad del motor es constante, independientemente de la carga,
- Puede proporcionar potencia reactiva y permite por tanto mejorar el factor de potencia de una instalación,
- Puede soportar, sin calarse (perder velocidad de sincronismo) bajadas de tensión relativamente importantes (del orden 50% a sus posibilidades de sobreexcitación).

Sin embargo, el motor síncrono alimentado directamente de la red de distribución de energía a tensión y frecuencia constantes presenta dos inconvenientes:

- Tiene dificultades de arranque; de hecho, si el motor no va asociado a un variador de velocidad, debe de efectuarse el arranque en vacío, o con arranque directo, en el caso de motores pequeños, o con la ayuda de un motor auxiliar de arranque que lo arrastra a una velocidad próxima a la de sincronismo, momento en el que se puede conectar directamente a la red,
- Se puede calar (perder la velocidad de sincronismo) si el par resistente sobrepasa al par electromagnético máximo, con lo que es necesario reiniciar todo el proceso de arranque.

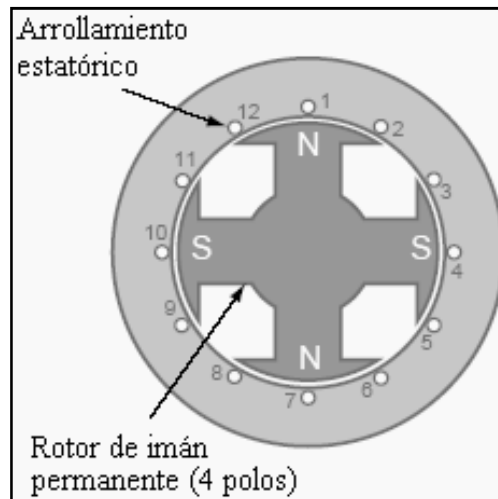


Figura 2.43 Sección de un motor de imanes permanentes.

2.6.6 Motores de corriente continua

Para impulsar máquinas con velocidad variable, todavía se utilizan algunas veces motores de corriente continua con excitación independiente. Puesto que se puede reducir mucho su tamaño, se han impuesto en muy bajas potencias y con bajas tensiones. Son también muy adecuados hasta potencias importantes (varios megavatios), para la variación de velocidad con tecnologías electrónicas sencillas y poco costosas pero con prestaciones elevadas (normalmente se utilizan con un margen de variación de 1 a 100).

Sus características permiten igualmente una regulación precisa de par, como motor o como generador. Su velocidad de rotación nominal, independiente de la frecuencia de la red, es fácilmente adaptable para implementar todas las aplicaciones.

Sin embargo, son menos robustas que los motores asíncronos y mucho más caras, tanto en costo de material como en mantenimiento, porque necesitan un mantenimiento regular del colector y de las escobillas.

Constitución

Un motor de corriente continua se compone de los elementos siguientes:

El inductor o estator

Es un elemento inmóvil del circuito magnético en el que se bobina un arrollamiento para producir un campo magnético. El electroimán así construido tiene una cavidad cilíndrica entre sus polos.

El inducido o rotor

Es un cilindro de chapas magnéticas, aisladas entre sí y perpendiculares al eje del cilindro. El inducido es móvil y gira alrededor de su eje separado del inductor por un entrehierro. En su periferia, los conductores están regularmente repartidos.

El colector y las escobillas

El colector es solidario con el inducido.

Las escobillas son fijas, y rozan en el colector, alimentando así los conductores del inducido.

Principio de funcionamiento

Cuando se alimenta el conductor, crea un campo magnético (flujo de excitación) en el entrehierro, dirigido según los radios del inducido. Este campo magnético *entra* en el inducido por el lado del polo norte del inductor y *sale* del inducido por el lado del polo sur del inductor.

Cuando se alimenta el inducido, sus conductores situados en el mismo polo del inductor (al mismo lado de las escobillas) están recorridos por corrientes del mismo sentido y quedan por tanto, según la ley de Laplace, sometidos a una fuerza. Los conductores situados bajo el otro polo quedan sometidos a una fuerza de la misma intensidad y de sentido opuesto. Las dos fuerzas crean un par que hace girar el inducido del motor (figura 2.47).

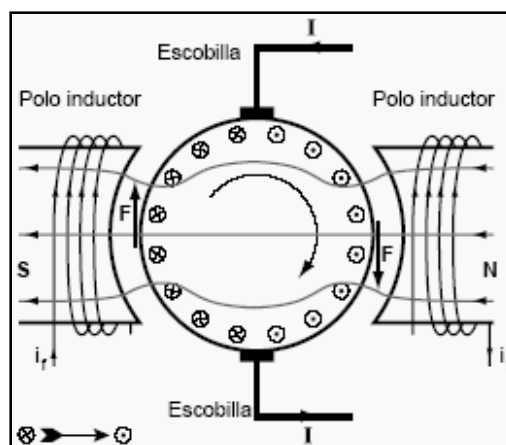


Figura 2.44 Producción de par en un motor de corriente continua.

Cuando el inducido del motor se alimenta con una tensión produce una fuerza contraelectromotriz E cuyo valor es:

$$E = U - RI$$

RI representa la caída de tensión óhmica en el inducido.

La fuerza contraelectromotriz E está unida a la velocidad y a la excitación por la relación: $E = k \omega \Phi$ en donde:

k es una constante propia del motor,

ω , la velocidad angular,

Φ , el flujo.

Esta relación muestra que con excitación constante la fuerza contraelectromotriz E , proporcional a ω , es una imagen de la velocidad. El par queda ligado al flujo inductor y a la corriente del inducido por la expresión:

$$C = k\Phi I$$

Si el flujo disminuye, el par disminuye.

Hay dos métodos que permiten aumentar la velocidad:

- Aumentar la fuerza contraelectromotriz E , y por tanto la tensión de alimentación a excitación constante: es el funcionamiento llamado *a par constante*.
- Disminuir el flujo de excitación, y por tanto la corriente de excitación, manteniendo constante la tensión de alimentación: es el funcionamiento llamado en régimen *con poco flujo o a potencia constante*.

Este funcionamiento hace disminuir el par al aumentar la velocidad (figura 2.48). Por otra parte cuando se quiere reducir mucho el flujo se necesitan motores especialmente adaptados (mecánica y eléctricamente) para superar los problemas de conmutación.

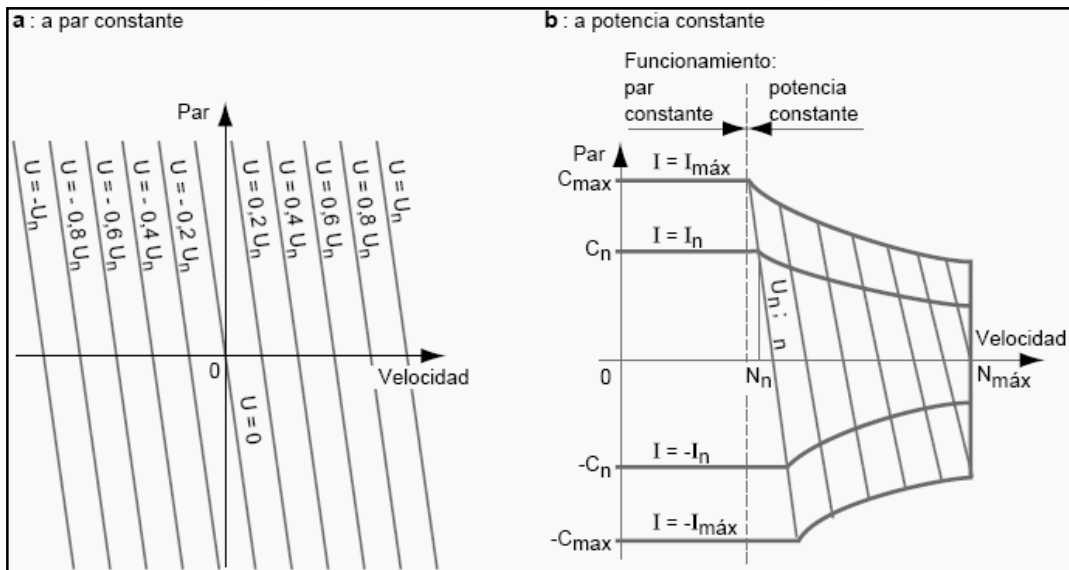


Figura 2.45 Curvas par-velocidad de un motor de excitación independiente.

El funcionamiento de este tipo de máquinas (motor de corriente continua) es reversible:

- Si la carga se opone al movimiento de rotación (denominada carga resistente), el aparato proporciona un par y funciona el motor,
- Si la carga es tal que tiende a hacer girar a la maquina (denominada carga de arrastre) o que se opone a la ralentización (fase de parada de una carga que tiene una cierta inercia), el aparato proporciona energía eléctrica y funciona como generador.

2.6.6.1 Distintos tipos de motores de corriente continua

Excitación paralelo (independiente o shunt)

Los arrollamientos, inducido e inductor, se conectan en paralelo o alimentados a fuentes de tensiones diferentes para adaptarse a las características de la máquina (ejemplo: tensión de inducido 400 voltios y tensión de inductor 180 voltios). La inversión del sentido de giro se obtiene por inversión de uno u otro arrollamiento; en general la inversión de la tensión se hace en el inducido debido a que sus constantes de tiempo son mucho menores. La mayoría de los variadores bidireccionales para motor de corriente continua trabajan de este modo.

Excitación serie

La construcción de este motor es similar a la del motor de excitación independiente. El bobinado inductor se conecta en serie con el bobinado inducido, de ahí su nombre. La inversión de giro se obtiene indistintamente invirtiendo la polaridad del inducido o del inductor. Este motor se utiliza principalmente para tracción, especialmente en carretillas alimentadas mediante baterías de acumuladores.

Excitación serie-paralelo (compound)

Este sistema permite reunir las cualidades del motor con excitación serie y del motor con excitación paralelo. Este motor tiene dos arrollamientos en el inductor. Uno está en paralelo con el inducido y está recorrido por una corriente baja respecto a la corriente de trabajo. El otro está en serie. Los flujos en el motor se suman si los amperios-vueltas de ambos arrollamientos tienen el mismo sentido. En caso contrario, los dos flujos se restan, pero este montaje se utiliza muy pocas veces porque lleva a un funcionamiento inestable para grandes cargas. La inversión de giro se obtiene indistintamente invirtiendo la polaridad del inducido o del inductor. Este motor se utiliza principalmente para tracción, especialmente en carretillas alimentadas mediante baterías de acumuladores.

Excitación serie-paralelo (compound)

Este sistema permite reunir las cualidades del motor con excitación serie y del motor con excitación paralelo. Este motor tiene dos arrollamientos en el inductor. Uno está en paralelo con el inducido y está recorrido por una corriente baja respecto a la corriente de trabajo. El otro está en serie. Los flujos en el motor se suman si los amperios-vueltas de ambos arrollamientos tienen el mismo sentido. En caso contrario, los dos flujos se restan, pero este montaje se utiliza muy pocas veces porque lleva a un funcionamiento inestable para grandes cargas. La inversión de giro se obtiene indistintamente invirtiendo la polaridad del inducido o del inductor. Este motor se utiliza principalmente para tracción, especialmente en carretillas alimentadas mediante baterías de acumuladores.

Excitación serie-paralelo (compound)

Este sistema permite reunir las cualidades del motor con excitación serie y del motor con excitación paralelo. Este motor tiene dos arrollamientos en el inductor. Uno está en paralelo con el inducido y está recorrido por una corriente baja respecto a la corriente de trabajo. El otro está en serie. Los flujos en el motor se suman si los amperios-vueltas de ambos arrollamientos tienen el mismo sentido. En caso contrario, los dos flujos se restan, pero este montaje se utiliza muy pocas veces porque lleva a un funcionamiento inestable para grandes cargas.

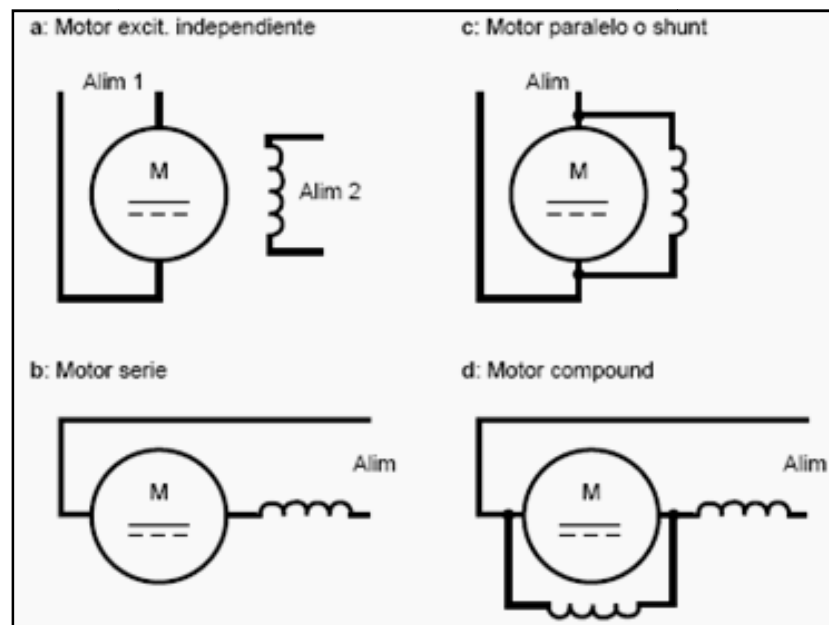


Figura2.46 Esquemas de los diferentes tipos de motores de corriente continúa.

CAPITULO 3

INTRODUCCIÓN A LA AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

3.1 Sistemas de fabricación

Un sistema de fabricación tiene como objetivo primordial conseguir en la fábrica o industria una mayor productividad, la misma se define como la relación entre la cantidad de bienes y servicios producidos y la cantidad de recursos utilizados. En la fabricación, este concepto sirve para evaluar el rendimiento de los talleres, los equipos de trabajo, las máquinas y los empleados; para los empresarios “productividad” es sinónimo de “rendimiento” y simplifican la definición diciendo que un buen sistema de producción, utilizando una cantidad de recursos debe obtener el máximo de productos en el menor tiempo posible.

En la industria actual, la mayor parte de los procesos de fabricación son automatizados. En los sistemas automatizados las decisiones sobre las acciones de fabricación no son realizadas por el ser humano. La inteligencia del proceso está contenida en la unidad de control o mando del sistema de fabricación.

La realización tecnológica de esa inteligencia ha adoptado diferentes formas o implementaciones a lo largo de la historia industrial. Desde automatismos puramente mecánicos, hasta los autómatas programables modernos. En la actualidad se puede afirmar que la mayoría de los procesos automatizados están controlados por autómatas programables y en menor medida por computadores de control de proceso y reguladores industriales.

La combinación de la inteligencia de los autómatas programables con los accionadores industriales, así como el desarrollo de captadores y accionadores cada día más especializados, permite que se automatice un mayor número de procesos, liberando al ser humano tanto de tareas de gran complicación intelectual como de realizar esfuerzos sustituidos por accionadores electromecánicos, neumáticos, etc. En los últimos años el mercado de los productos de automatización cambia y se incrementa continuamente tanto en sus gamas de productos como en nuevos elementos para implantar y configurar instalaciones automatizadas.

La potencia de los autómatas programables ha aumentado considerablemente dejando de ser unos "lentos elementos de control que sólo pueden sustituir a los cuadros de contactores" a ejecutar complicadas aplicaciones de control con un tiempo de computo mínimo y con una alta fiabilidad. En las gamas de autómatas se han ido incorporando toda una gama de nuevos módulos para funciones especiales como el control de ejes, el pesaje, etc. Esto no sólo ha sido posible con el desarrollo de la unidad de control, sino que se han invertido grandes esfuerzos e investigaciones en campos como son las Redes de Comunicación Industrial, los buses de Campo, los Buses de Célula, los identificadores de productos, etc.

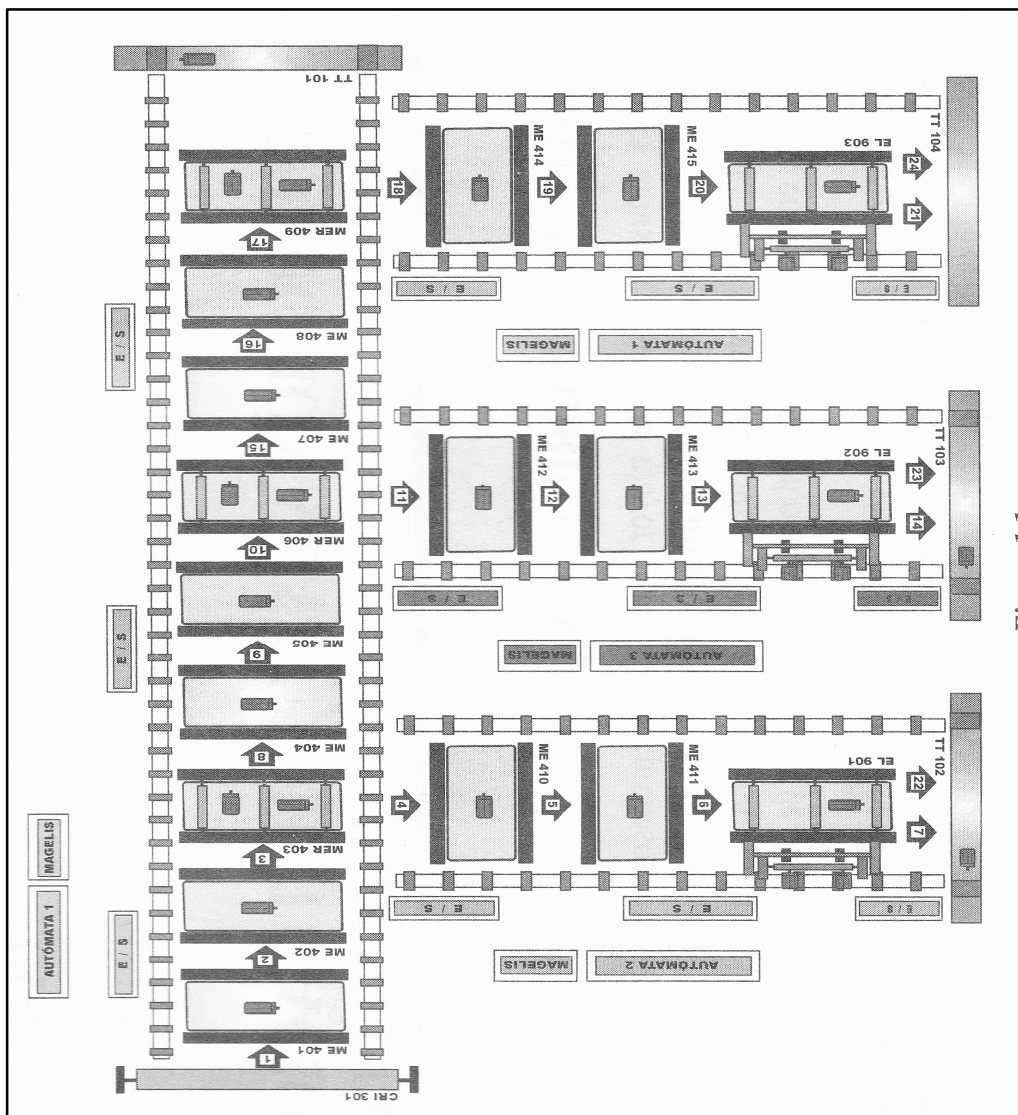


Figura 3.1 línea de fabricación industrial automatizada.

En la Figura 3.1 se observa una línea de fabricación industrial automatizada. Esta instalación es un transporte de suelo de una fábrica de automóviles. El transporte de suelo está controlado por medio de cuatro autómatas programables. Cada autómata controla una zona del transporte de suelo. Las carrocerías de los coches entran por el transporte de tierra TT101 y son llevadas a los elevadores EL901, EL902 y EL903. Para automatizar el proceso el sistema deberá disponer de una serie de captadores y accionadores. Los captadores permitirán detectar el estado y situación de las carrocerías y los accionadores permitirán el desplazamiento.

3.2 Los elementos que componen una instalación Automatizada

3.2.1 Máquinas

Donde se realizan los procesos, los traslados, las transformaciones de los productos como se observa en la figura 3.2.

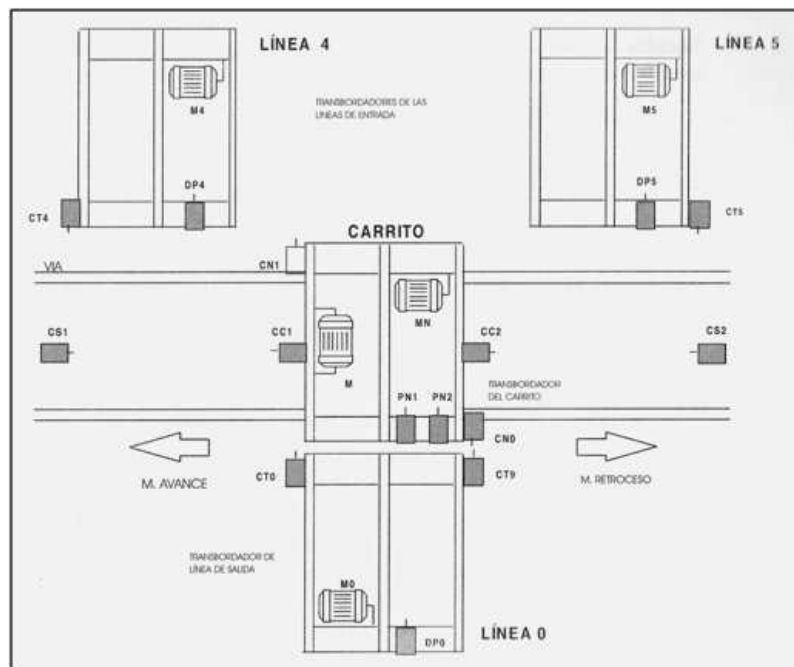


Figura 3.2 Realización de los procesos, traslados, y de las transformaciones de los productos.

3.2.2 Accionadores

Están acoplados a máquinas para realizar movimientos, calentamientos. Son motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos.

- **Accionadores eléctricos**

Utilizan como fuente de energía, la eléctrica y toman muy diferentes formas como son: válvulas eléctricas, motores eléctricos de velocidad variable, motores de velocidad fija, resistencias de calentamiento, cabezas de soldadura, cabeza de corte por láser. Los motores eléctricos son adecuados para movimientos angulares y en el control de velocidad de ejes.

- **Accionadores neumáticos**

Utilizan como fuente de energía el aire comprimido. El aire comprimido se obtiene por medio de un conjunto compresor, y luego se distribuye por la fábrica a las máquinas que lo utilicen. Los accionadores neumáticos son principalmente cilindros. Son adecuados para aplicarlos en movimientos.

- **Accionadores hidráulicos**

Sólo se utilizan cuando los esfuerzos a desarrollar son muy importantes (prensas de corte) o cuando velocidades lentas deben ser controladas con precisión.

3.2.3 Reaccionadores

Para comandar y activar los accionadores. Son contactores, variadores de velocidad, electroválvulas, etc.

- **Preaccionadores eléctricos**

Contactores y variadores de velocidad

- **Preaccionadores neumáticos**

Son los distribuidores asociados a los cilindros. Reciben una señal neumática o una señal eléctrica como mando.

3.2.4 Captadores

Son elementos que informan al órgano de mando del estado del sistema o de los eventos que sucedan en él. Los captadores captan las señales necesarias para conocer el estado del proceso y decidir su desarrollo futuro. Detectan posición, presión, temperatura, caudal, velocidad, aceleración. Los captadores de posición suelen ser los más utilizados. Unos ejemplos de estos captadores pueden verse en la figura 3.3.

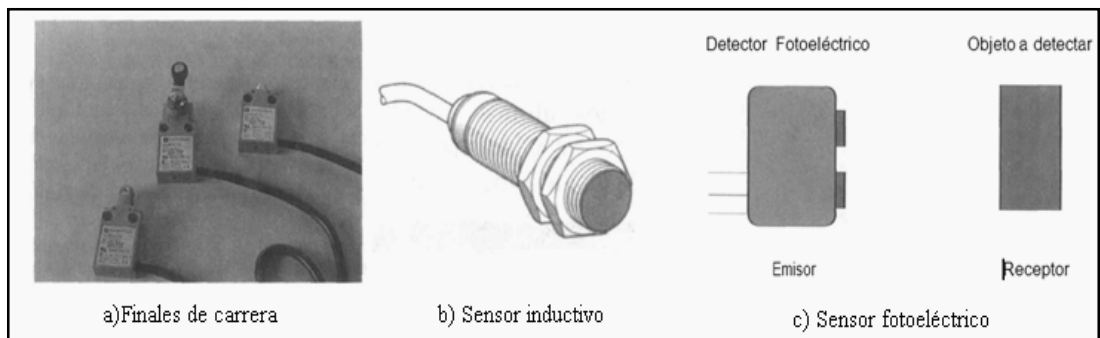


Figura 3.3 Finales de carrera, detector inductivo, detector fotoeléctrico.

3.2.5 Elementos de diálogo hombre-máquina

Permiten el diálogo entre el operador y la unidad de control. Están implantados en el pupitre de la máquina: pilotos, pulsadores, teclados, visualizadores.

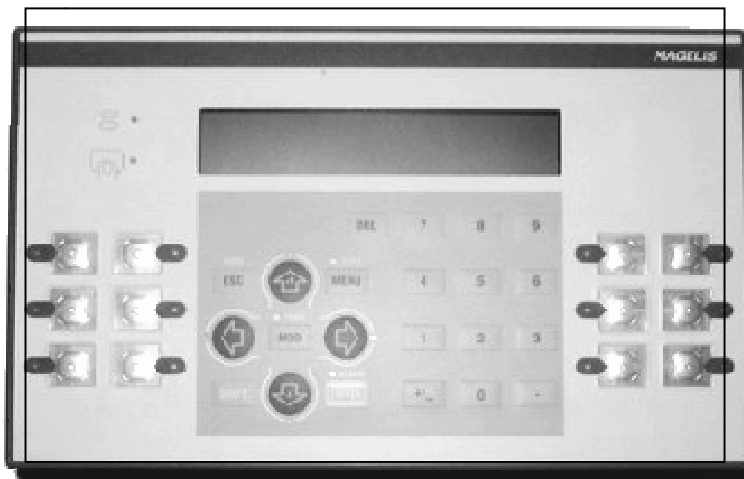


Figura 3.4 Terminal de explotación Magelis.

3.2.6 Elementos de mando

Son los elementos de cálculo y control que comandan el proceso. Han tenido un desarrollo espectacular, permitiendo controles más avanzados y flexibles sin requerir instalaciones complejas. Suelen ser Autómatas Programables o Computadores de Control Industrial, en la figura 3.5 se muestra un Autómata programable de Siemens y en la figura 3.6 se muestran Terminales de Visualización y Computadores de Control de Procesos.

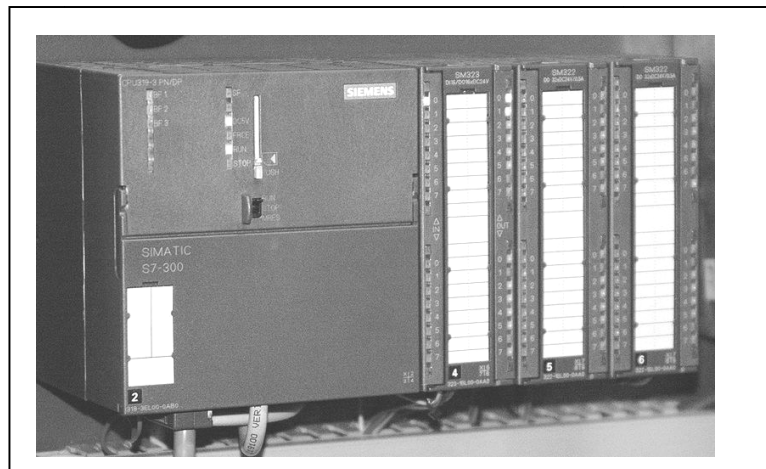


Figura 3.5 Autómata programable Siemens



Figura 3.6 Terminales de Visualización y Computadores de Control de Proceso.

3.3 Realización tecnológica del control

Actualmente pequeñas Automatizaciones, cuadros de mando, circuitos marcha/paro se siguen controlando con tecnologías cableadas, como pueden ser los circuitos de relés y contactores. Pero en la mayor parte de los sistemas industriales Automatizados la tecnología del control aplicada es una tecnología programada.

Las herramientas cableadas se caracterizan por una realización que requiere única, pero necesariamente, el establecimiento de uniones materiales (cableado) según un esquema provisto por la teoría o por la experiencia.

Las limitaciones de las tecnologías cableadas son:

- Espacio que ocupan
- Falta de flexibilidad
- Sólo aplicables a problemas sencillos
- El tiempo invertido en la búsqueda de averías y, por lo tanto, en la reparación
- A partir de unos 20 a 30 relés es más barato aplicar un pequeño Autómata

Las tecnologías que permiten hacer automatismos cableados son:

- **Relés electromagnéticos**

Compuesto de contactos accionados por una bobina electromagnética. La puesta en tensión de la bobina hace que los contactos conmuten debido a la fuerza electromagnética creada.

- **Módulos lógicos neumáticos**

El fluido utilizado es aire comprimido, que actúa sobre las membranas que accionan las mariposas de conmutación.

Estas tecnologías se usaban en el tratamiento y toma de decisiones del sistema automatizado. En la actualidad el tratamiento y el control lo ejercen los autómatas programables u computadores industriales, ver figura 3.7, habiendo reemplazado en gran cantidad de aplicaciones al cableado. Sin embargo, la acción directa sobre las máquinas sigue siendo efectuada mediante elementos de tecnología cableada. Los contactores eléctricos dan alimentación a los accionadores eléctricos tales como motores, resistencias de calentamiento.

Los relés eléctricos siguen siendo utilizados en las salidas digitales relevando al autómata en potencia.

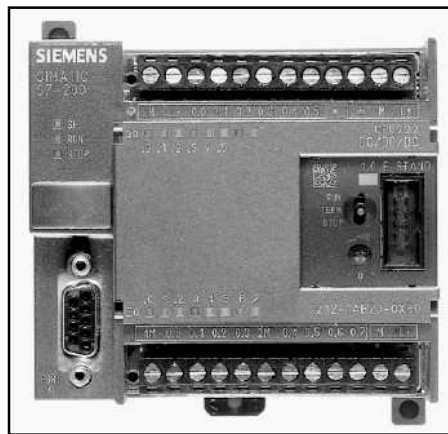


Figura 3.7 Autómata Programable CPU 224 de Siemens

3.4 Sistemas automatizados

Una forma clásica de abordar el estudio de los sistemas Automatizados es la división en Parte de Mando y Parte Operativa.

- La Parte Operativa es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y lleve a cabo la operación. Forman parte de ella los accionadores de las máquinas como son: Motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos, accionadores hidráulicos, compresores, bombas, etc.

- La Parte de Mando suele ser un autómata programable. En un sistema de fabricación automatizado esta el autómata programable en el centro del sistema. El autómata programable debe ser capaz de comunicarse con todos los elementos constituyentes del sistema mencionado.

El autómata elabora las acciones consideradas sobre el sistema de fabricación en base al programa que ha sido introducido en su memoria, a las señales de los captadores, y en base a las órdenes que provengan del operador. El autómata dialoga con el operario, recibiendo consignas y suministrando informaciones. Puede coordinarse con otros procesos comunicándose con los demás autómatas de la línea de producción o con un nivel superior de supervisión.

No es posible automatizar todos los procesos. Las razones o causas pueden ser varias, aunque las más comunes son:

- Es muy caro desarrollar las máquinas o los robots necesarios para la automatización.
- No existen captadores fiables del proceso que se desea automatizar. Siempre es importante considerar el hecho que no todo elemento captador desarrolle al cien por ciento su función sin incurrir en fallas.
- Es más barato que lo realice un ser humano. El factor humano tiene de alguna manera un efecto economizador en los procesos de automatización, claro está, bajo circunstancias muy específicas.

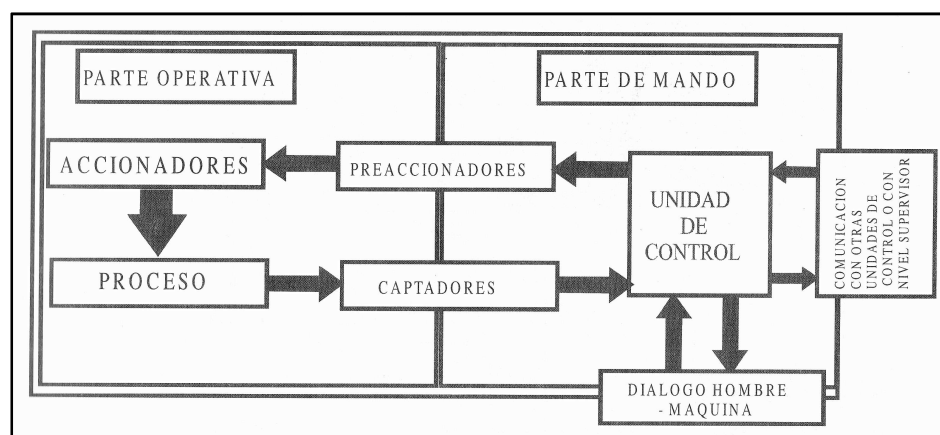


Figura 3.8 esquema de comunicación hombre-máquina en el proceso productivo.

Para que el control del proceso sea efectivo las informaciones de los captadores deben ser suficientes y fiables.

Los procesos de movimiento como los traslados en cintas transportadoras y los movimientos de los robots han sido totalmente automatizados dado que existen los captadores y accionadores adecuados.

Los captadores son finales de carrera, detectores de proximidad inductivos, encoders, dínamos tacométricas. Estos captadores son totalmente fiables. Los accionadores son motores de corriente continua, motores de corriente alterna, cilindros neumáticos.

3.5 Funciones básicas del autómatas programable

El autómatas programable debe realizar multitud de funciones y muchas de ellas simultáneamente, las funciones más clásicas son:

3.5.1 Detección

Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación. Ver figura 3.9.

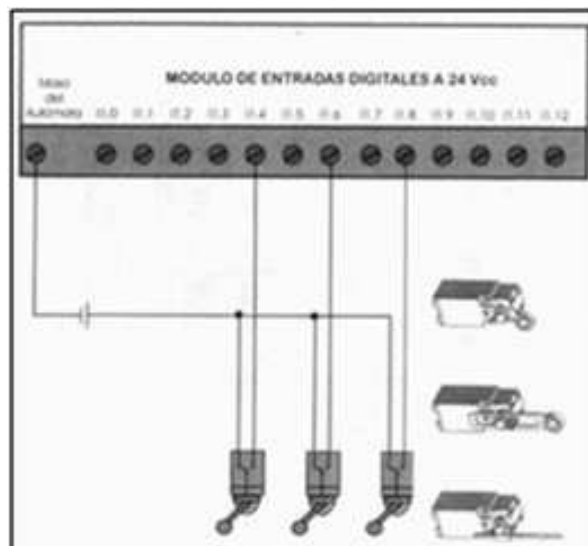


Figura 3.9 captadores, estos envían señales y el autómatas las lee.

3.5.2 Mando

Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores. Ver figura 3.10

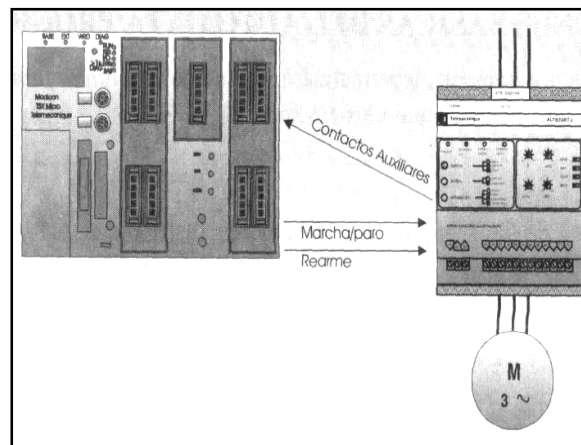


Figura 3.10 Esquema de orientación de las acciones en el proceso productivo.

3.5.3 Dialogo Hombre Máquina

Mantener un diálogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informarles del estado del proceso. Ver figura 3.11

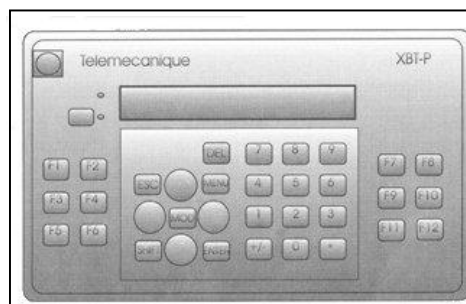


Figura 3.11 Terminal de explotación y Diálogo.

3.5.4 Programación

Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del autómeta. El dialogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el autómeta controlando la máquina. Ver figura 3.12

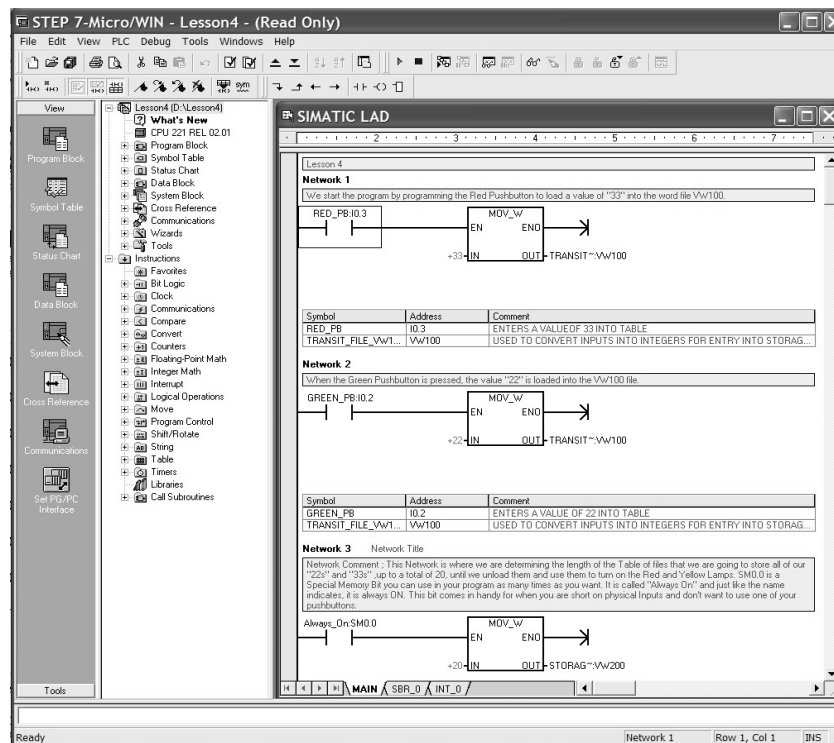


Figura 3.12 Programación de un Automata en lenguaje de contactos.

3.6 Nuevas funciones y elementos de automatización industrial

En los últimos años, en el campo de la Automatización Industrial se ha incorporando toda una gama de nuevas funcionalidades. Ver figura 3.13

1. Redes de Comunicación
2. Control de procesos continuos
3. Los buses de Campo
4. Las entradas-salidas distribuidas
5. Control de ejes
6. Módulos de Pesaje
7. Identificación de Productos

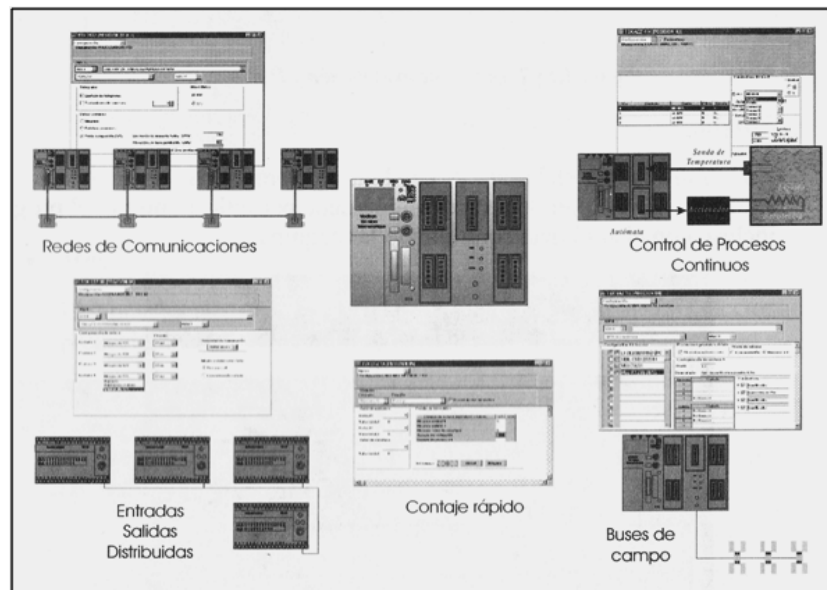


Figura 3.13 Nuevas funciones de los Autómatas Programables.

A continuación describiremos las funciones más destacadas.

3.6.1 Redes de Comunicación

Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten la comunicación y el intercambio de datos entre autómatas en tiempo real. En unos pocos milisegundos pueden enviarse telegramas e intercambiar tablas de memoria compartida. Ver figura 3.14



Figura 3.14 Red de Comunicación Industrial.

3.6.2 Sistemas de Supervisión

También los autómatas permiten comunicarse con computadores provistos de programas de Supervisión Industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del computador. Ver figura 3.15

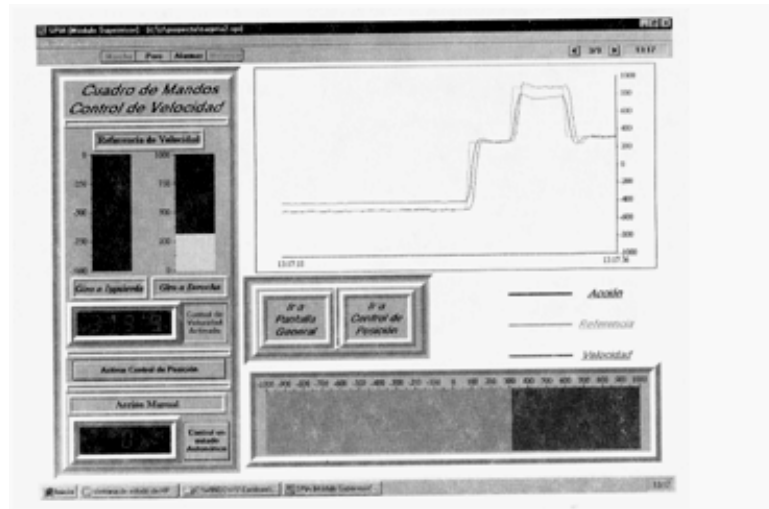


Figura 3.15 Programa de Supervisión Industrial.

3.6.3 Control de procesos continuos

Además de dedicarse al control de sistemas de eventos discretos los autómatas llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entradas y salidas analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el autómata. Ver figura 3.16

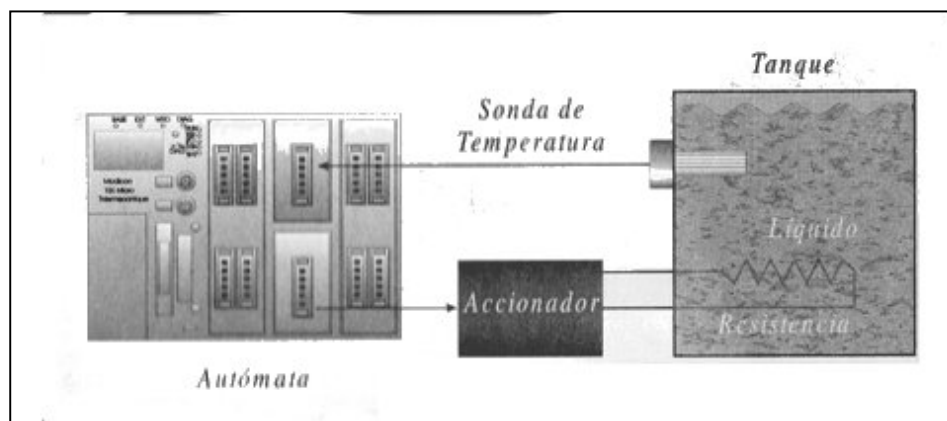


Figura 3.16 Interacción de un accionador con el autómata y demás elementos de procesos.

3.6.4 Entradas-Salidas Distribuidas

Los módulos de entrada salida no tienen por qué estar en el armario del Autómata. Pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del autómata mediante un cable de red. En la Figura 3.17 se observa un Autómata programable que tiene cuatro módulos de entradas salidas distribuidas.

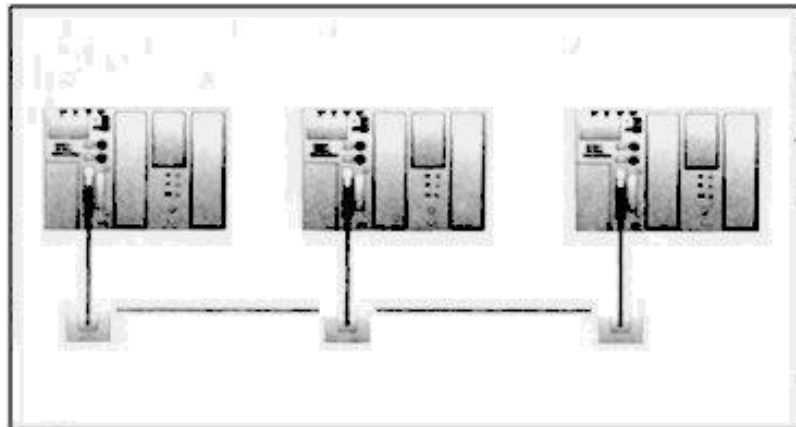


Figura 3.17 Disposición de módulos entrada-salida con el autómata.

3.6.5 Buses de campo

Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores, reemplazando al cableado tradicional. El autómata cíclicamente consulta el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores. Ver figura 3.18

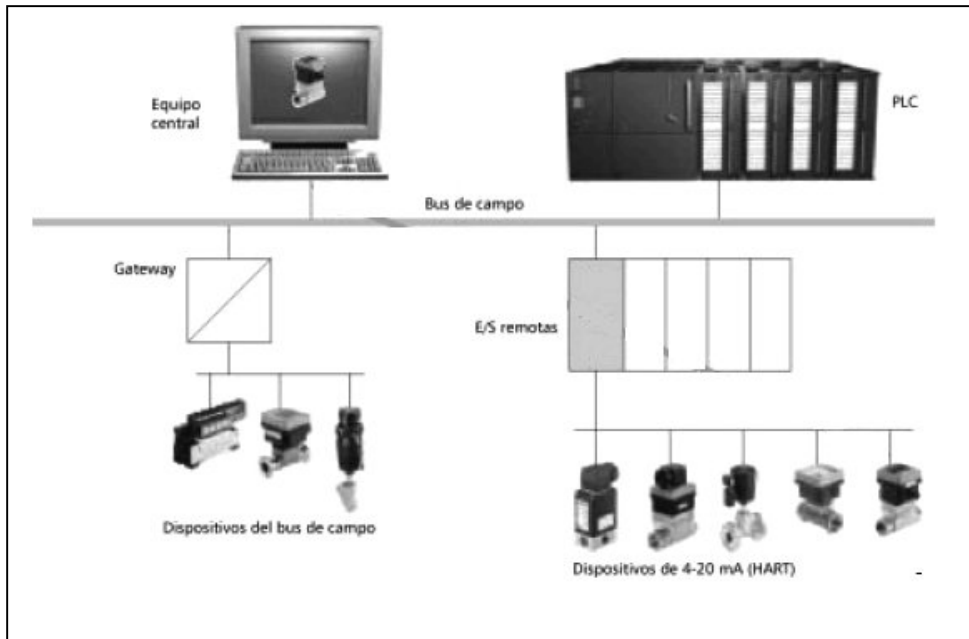


Figura 3.18 Bus de Campo AS-i.

CAPITULO 4

AUTÓMATAS PROGRAMABLES INDUSTRIALES

4.1 Arquitectura modular del autómata programable

Como elemento base está la unidad central del autómata donde se encuentra la CPU, las memorias RAM y ROM y la fuente de alimentación, a partir de ahí se incorporan módulos de entradas-salidas digitales, módulos de entradas-salidas analógicas, módulos de comunicación, etc.

El autómata programable se organiza alrededor de la unidad central y la comunicación con los módulos se establece mediante un bus interno.

La configuración física de un autómata se puede presentar en tres formas principales:

- Autómatas compactos
- Autómatas semimodulares
- Autómatas modulares



Figura 4.1 Logo de Siemens.

Los autómatas de gama baja o nanoautómatas suelen tener una estructura compacta. Incorporan en la Unidad central los módulos de entrada-salida e incluso el acoplador de comunicaciones. Ejemplos de estos autómatas son el LOGO de Siemens o el Nano de

Telemecánica. Su potencia de proceso suele ser muy limitada, dedicándose a controlar máquinas muy pequeñas o cuadros de mando. Sus reducidas dimensiones permiten que se incorporen a la propia máquina. No obstante, estos pequeños autómatas han ido aumentando su potencia, con la posibilidad de incorporar módulos de ampliación, entradas-salidas analógicas y en el caso del LOGO conexión al bus AS-i.

Un ejemplo de Autómata semimodular es el autómata Micro de Telemecánica en el cual la unidad central dispone de un rack donde se conectan los módulos.



Figura 4.2 Autómata TSX Micro de Telemecánica

Los autómatas semimodulares se dedican a automatizaciones de gama media. Dado que están limitados en sus posibilidades de ampliación, su potencia de proceso, aunque superior a los compactos, es también limitada.

Los Autómatas programables de gama alta se construyen como elementos modulares que permiten una gran flexibilidad en su constitución.

En la Figura 4.3 se observa la configuración hardware de un Autómata Premiun sobre un Rack de 8 posiciones en el que se ha incorporado:

- Fuente de Alimentación (PSY 2600)
- Unidad central (TSX 57232)
- Módulo de 32 entradas digitales (DEY 32D2K)
- Módulo de 32 salidas digitales (DEY 32T2K)
- Módulo Maestro de Bus AS-i (SAY100)
- Módulo de Comunicación Ethernet (ETY100)

El autómata Premium permite la conexión mediante el bus X de un total de 8 racks donde se pueden conectar módulos de funciones específicas. El cable de bus puede medir un total de 100 m, por lo que puede haber racks distribuidos por la instalación que no se encuentran necesariamente en el mismo armario que el autómata.

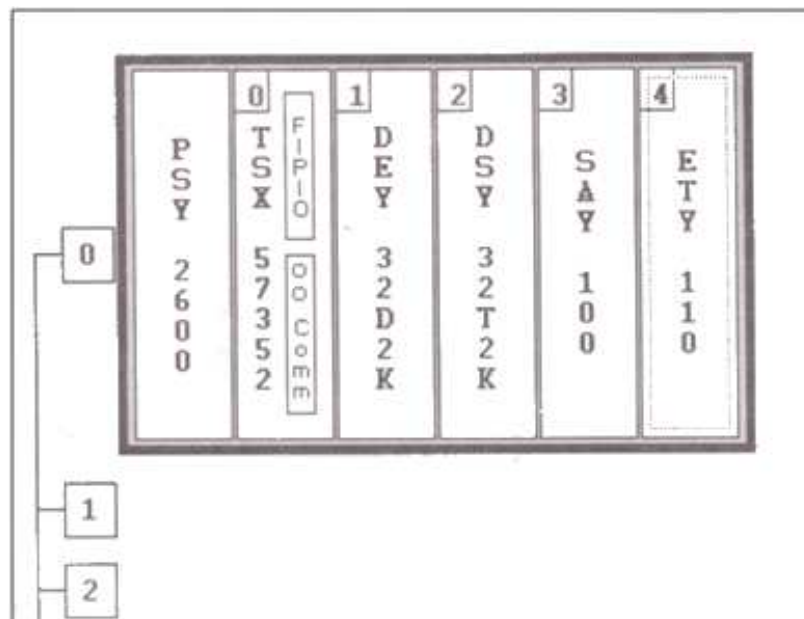


Figura 4.3 Configuración Autómata Premium

Esta organización modular permite una gran flexibilidad de configuración para las necesidades del usuario, así como un diagnóstico y un mantenimiento fáciles. Si algún módulo falla, puede ser rápidamente sustituido. En cambio, en un autómata compacto si el módulo de entradas falla debe ser sustituido todo el autómata. Las posibilidades que ofrecen los autómatas modulares son infinitas, ya que evolucionan día a día y permiten abordar cualquier tipo de automatización, dado que solamente están limitados por problemas de velocidad de proceso.

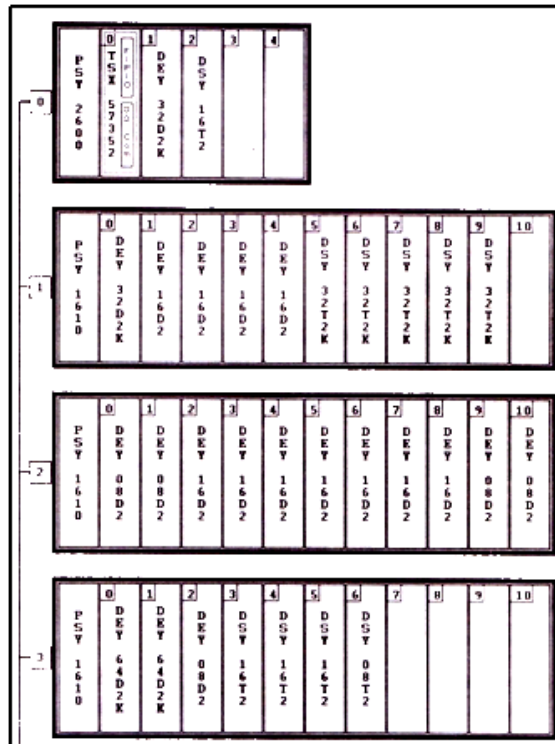


Figura 4.4 Configuración Multirack de un Autómata Premium.



Figura 4.5 Autómata TSX Premium.

4.2 Entradas/Salidas digitales

4.2.1 Entradas digitales

Los módulos de entradas digitales permiten conectar a los autómatas captadores de tipo todo o nada. El cable de señal del captador se conecta a una vía de entrada del módulo. El módulo se encarga de convertir la señal que entra por la vía en una señal que es cero o uno en un bit interno de la memoria del módulo. Cada ciclo de autómata, la unidad central lee los bits de los módulos y vuelca su valor en los objetos del lenguaje del autómata conocidos como entradas digitales.

Los módulos de entradas digitales trabajan con señales de tensión, por ejemplo cuando por una vía llegan 24 voltios se interpreta como un 1 y cuando llegan cero voltios se interpreta como un 0. Los módulos de entradas digitales se caracterizan por el nivel de tensión que interpretan como "uno". Los niveles de tensión estándar son 24 voltios C.C., 110 VCA, 220 VCA.

Los módulos de entradas digitales a 24 Vcc son los más comunes. Se utilizan 24 Vcc y no un nivel de tensión más bajo, por ejemplo 5 Vcc por que en una instalación industrial hay que garantizar que la señal que da el captador, llegue al módulo de entradas, el cable perfectamente puede medir 100 metros, y no existe ninguna garantía de que los 5 voltios lleguen al módulo de entradas. En el cable además pueden inducirse ruidos que den lugar a la aparición de voltajes que el autómata interpretará como que el captador está activo. Es más difícil que esto suceda si se utilizan 24 voltios.

También existen módulos cuyos niveles de tensión son 110VCA y 220VCA. Son niveles de tensión más elevados, que "garantizan" la llegada de la señal del captador. Además los captadores no necesitan fuente de alimentación, ya que con un simple transformador reductor basta.

En su contra, utilizan tensión alterna, la cual debe ser rectificadada y comparada, por lo que el proceso de adquisición de la señal es más lento que en tensión continua. El nivel de tensión 220 debe ser considerado peligroso para el ser humano y los captadores tendrán puntos a esta tensión. En la máquina existirán puntos de tensión peligrosa. Son módulos más caros que los de 24 Vcc. El número de vías por módulo es menor debido a que la

electrónica de tratamiento es más complicada y ocupa más sitio. Además se debe tener en cuenta que la oferta comercial de estos módulos es mucho más reducida.

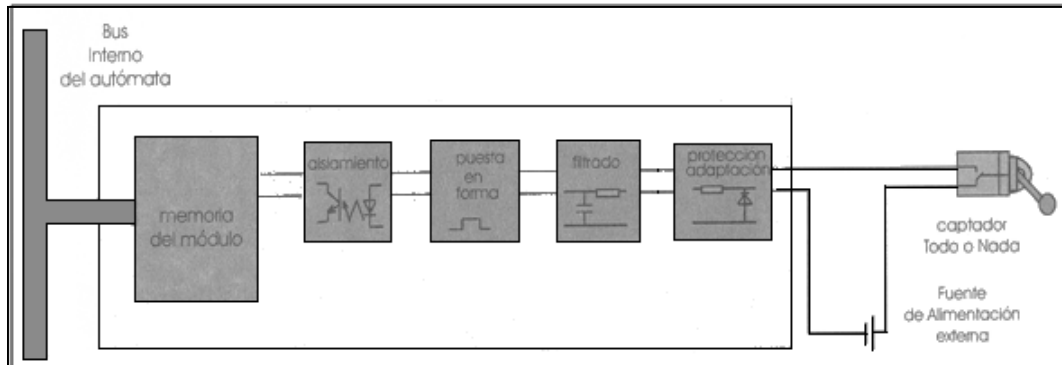


Figura 4.6 Tratamiento de una señal en un módulo de entradas Digitales.

En el proceso de adquisición de la señal hay varias etapas. En la primera existe una protección contra sobretensiones, si la señal es de corriente alterna se rectifica. En la segunda etapa se produce un filtrado, para evitar los ruidos que pueden entrar por el cable del captador. En algunos módulos es programable el tiempo de filtrado (entre 0.1 y 12 ms). Un ruido que induzca en el cable del captador 24 voltios durante un tiempo inferior al filtrado, no será interpretado como "uno". Después del filtrado se produce una puesta en forma de la onda y un aislamiento galvánico o por optoacoplador. A continuación la señal se deposita como un "cero" o como un "uno" en un bit interno de la memoria del módulo.

Al existir el filtrado de la señal se impide que los ruidos "lleguen" al interior del autómata. Pero también impide que estos módulos se puedan utilizar para cablear captadores que dan pulsos a alta frecuencia, como pueden ser los pulsos de un encoder. Un filtrado de 10 ms indica que se podrán leer pulsos a una frecuencia máxima de 50 Hz (50 pulsos por segundo). Para efectuar contajes rápidos el autómata dispone de entradas de contaje rápido, que asociadas a circuitos contadores rápidos pueden contar pulsos a altas frecuencias (hasta 500 KHz). En algunos autómatas cada vía de entrada digital ocupa tres bits. Uno para el valor actual, otro para el valor anterior y otro para el valor de forzado. Con los bits de valor actual y valor anterior el autómata puede reconocer flancos de subida o bajada en la vía de entrada digital. Con el bit de forzado se pueden forzar desde el software de programación el estado de las entradas, para

por ejemplo comprobar la evolución del programa del autómatas sin tener que tener la máquina conectada.

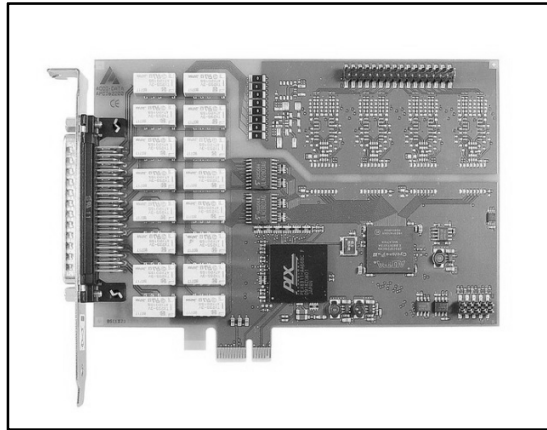


Figura 4.7 Módulo de 16 Entradas a 24 Vcc y 12 Salidas Digitales a Relé.

4.2.2 Salidas digitales

Un módulo de salidas digitales permite al autómatas programable actuar sobre los preaccionadores y accionadores que admitan órdenes del tipo todo o nada. Periódicamente el autómatas escribe el valor de los objetos conocidos en su lenguaje como salidas digitales en estos módulos.

El valor binario de las salidas digitales (0 ó 1) se convierte en la apertura o cierre de un contacto relé interno del autómatas en el caso de módulos de salidas a relé. O bien se convierte en la presencia de 0 ó 24 voltios en un tornillo del bornero del módulo, en los módulos de salidas estáticos.

En los módulos estáticos el elemento que conmuta es un componente electrónico como transistores o triacs, y en los módulos electromecánicos son contactos de relés internos al módulo.

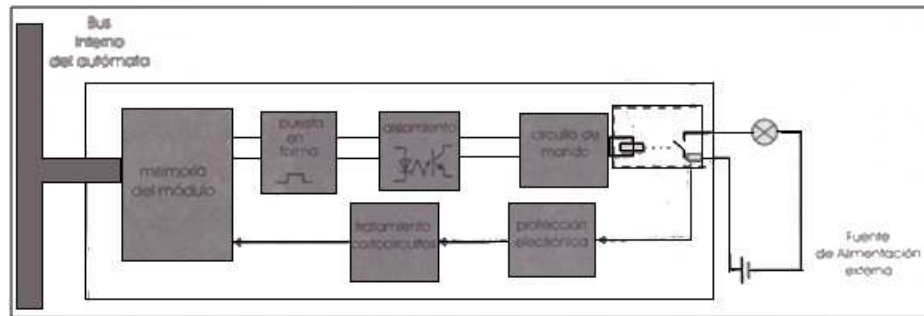


Figura 4.8 Vía de Salida Digital Electromecánica.

Los módulos de salida digitales a base de transistores o triacs suministran tensión cuando la vía de salida esta activa. Los niveles de tensión estándar son 24 VCC y 110 VCA. La potencia que suministran las vías de salida es limitada.

Los módulos de salidas electromecánicas disponen de relés internos que al activar la salida conmutan su contacto. Este contacto une eléctricamente dos tornillos del bornero de conexión del autómata. Las salidas a relé son libres de tensión. La tensión debe provenir de una fuente de alimentación externa al autómata y conectarse al común del contacto del relé, el otro tornillo del contacto se cableará al elemento que deseamos activar con esta salida. Aunque las salidas a relé sean libres de tensión se procurará no sobrepasar la intensidad máxima que soporta el contacto del relé. De lo contrario el contacto podría soldarse, de manera que la salida permanecería activa aunque por programa estuviera desactivada.

Los módulos de salidas estáticas al suministrar tensión, sólo pueden actuar sobre elementos que trabajen todos a la misma tensión, en cambio los módulos de salidas electromecánicas, al ser libres de tensión, pueden actuar sobre elementos que trabajen a tensiones distintas. Los módulos estáticos a 24 VCC permiten una mayor densidad de vías por módulo y son menos costosos que los electromecánicos. Pero tienen la desventaja de que exteriormente al módulo muchas veces hay que efectuar una activación en cascada mediante un relé para poder actuar sobre el accionador.



Figura 4.12 Autómata CPU 224 con salidas a relé y entradas a 24 voltios.

4.2.2.1 Protección de los módulos de Salidas digitales

Cuando una falla, por ejemplo un cortocircuito, tiene como consecuencia la disyunción de una salida, ésta puede reactivarse si no persiste ninguna falla en sus límites. El comando de reactivación se define en la configuración. La reactivación puede ser automática o controlada por el programa.

- Automático

El módulo ejecuta la reactivación en periodos de 10 segundos hasta que desaparezca la falla.

- Programado

El programa de aplicación ejecuta la reactivación. Para evitar las reactivaciones repetidas, el módulo asegura automáticamente una temporización de 10 segundos entre dos reactivaciones.

La reactivación no tiene ningún efecto en una vía no activada o que contiene una falla. Si el programa de autómata se detiene y pasa a estado de STOP, por falla del procesador, o por fallo en algún módulo de entradas-salidas, las salidas pueden ponerse en un estado no

perjudicial para la aplicación. Este estado, llamado posición de retorno, se define para cada módulo en la configuración de salidas. La configuración permite seleccionar:

- Retorno
Las vías se ponen a 0 ó 1 en función del valor de retorno configurado.
- Conservación
Las salidas permanecen en el estado anterior a STOP.

4.3 Objetos de lenguaje Asociados a los módulos de Entradas y Salidas Digitales

Los objetos (figura 4.14) que la unidad central del Autómata intercambia automáticamente en cada ciclo de tarea con los módulos de entrada-salida son:

- %Ix.i: En el estado 1, indica para la vía de entrada i del módulo situado en la posición x que la salida del captador que controla la entrada está activa.
- %Qx.i: bit de vía de salida. En el estado 1, indica para la vía de salida i del módulo situado en la posición x que la salida está activa.
- %Ix.i.ERR: bit de falla de la vía. En el estado 1, indica una falla de la vía i del módulo situado en la posición x.
- %Ix. MOD.ERR: bit de falla del módulo. En el estado 1, indica una falla del módulo situado en la posición x.

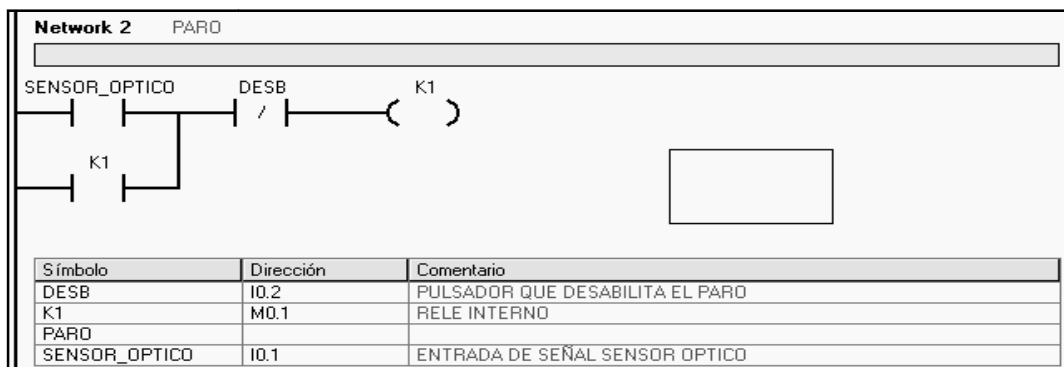


Figura 4.14 Objetos Asociados a un Módulo de Entradas Digitales



Figura 4.15 Objetos Asociados a un Módulo de Salidas Digitales

4.4 Entradas/Salidas analógicas

Los módulos de entradas salidas analógicas permiten que los autómatas programables trabajen con accionadores de mando analógico y lean señales de tipo analógico. Estos módulos son la interfaz para que el autómata pueda controlar procesos continuos como son temperatura, presión, caudal, etc.

4.4.1 Entradas analógicas

Los módulos de entradas analógicas convierten una magnitud analógica en un número que se deposita en una variable tipo palabra interna del autómata. Esta conversión se realiza con una precisión o resolución determinada (número de bits) y cada cierto intervalo de tiempo (periodo de muestreo). En la Figura 4.16 se muestra el tratamiento de una señal analógica. La precisión en los módulos de entrada analógica suele ir desde los 12 a los 16 bits. A mayor número de bits más precisa será la conversión pero también más lenta. Una precisión de 14 bits es mucho más que suficiente en la mayoría de las aplicaciones industriales.

La velocidad con que se toman muestras de la señal analógica, define el periodo de muestreo. El periodo de muestreo, en las tarjetas de entrada analógica de los autómatas, suele ir desde 25 msg a unos 30 segundos. Como muy rápido se toman 40 muestras por segundo. Se debe considerar que los autómatas se dedican a control industrial de variables lentas como son la temperatura, y 40 muestras por segundo es mucho más que suficiente para controlar temperatura (y también para controlar velocidad).

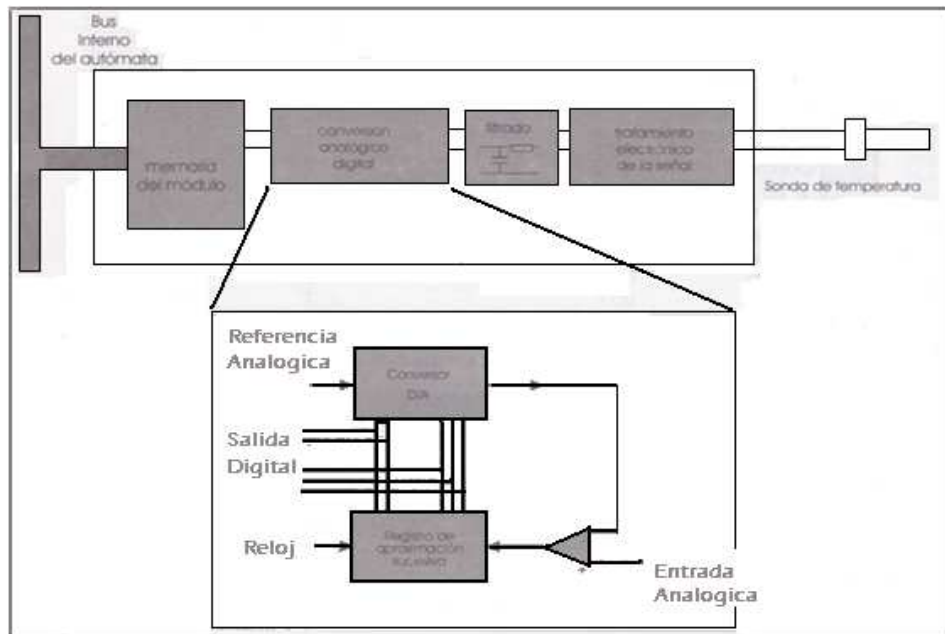


Figura 4.16 Tratamiento de una señal analógica.

En la Figura 4.17 se observa la configuración de un módulo de entradas/salidas analógicas incorporado en la unidad central del autómata TSX Micro 3722. Este módulo dispone de 8 vías de entrada analógica y una vía de salida analógica. En cada vía de entrada se puede configurar el rango y el filtro. El filtro elegido permite eliminar los ruidos, en este módulo se puede elegir:

0 sin filtrar, periodo de muestreo de 32ms.

1 Filtrado débil $\alpha=0.750$ y un tiempo de respuesta de 111,23 milisegundos.

2 Filtrado débil $\alpha=0.875$ y un tiempo de respuesta de 239,64 milisegundos.

3 Filtrado medio $\alpha=0.937$ y un tiempo de respuesta de 495,83 milisegundos.

4 Filtrado medio $\alpha=0.969$ y un tiempo de respuesta de 1,008 segundos.

5 Filtrado fuerte $\alpha=0.984$ y un tiempo de respuesta de 2,032 segundos.

Si se elige el 0, no existe filtrado de la señal analógica y el periodo de muestreo es lo suficientemente bajo como para que el autómata pueda controlar variables rápidas como

son velocidad y par. Si la señal es muy ruidosa se debe elegir un filtro alto, pero los tiempos de respuesta del filtro sólo permitirán controlar variables lentas como es la temperatura.

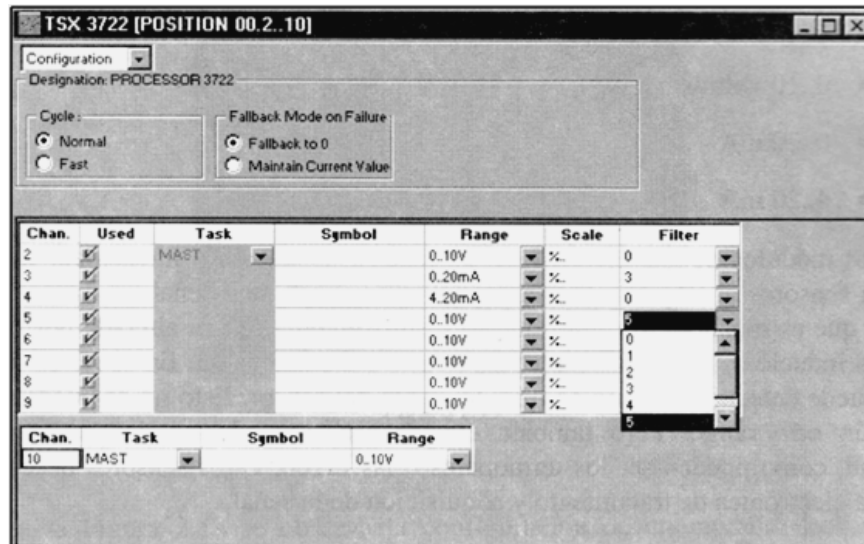


Figura 4.17 Configuración del módulo de entradas/salidas analógicas integradas en el TSX 37 Micro

El rango permite ajustar la vía al tipo de señal de entrada que da el sensor analógico. Los rangos más comunes de señal que ofrecen los sensores analógicos son:

- ± 10 voltios
- 0...10 voltios
- 0...20 mA
- 4...20 mA

Los módulos de entrada analógica pueden leer tensión o intensidad. Una gran gama de sensores analógicos dan como señal de salida una señal en intensidad. La razón es que es mucho más difícil que su forma de onda se vea alterada por ruidos o tensiones inducidas, que en el caso de que la señal sea tensión. En el rango de 4...20 mA se puede detectar la rotura de hilo del cable del sensor. Esto no se puede realizar en ningún otro rango. Pero también existen sensores que no dan ni tensión ni intensidad, como pueden ser los termopares o las Pt100. Estos sensores necesitan de una etapa electrónica de tratamiento y adquisición de la señal.

Existen módulos que llevan incorporada la electrónica necesaria para el tratamiento de la

señal, evitando la necesidad de electrónica externa al automático para el tratamiento de la señal que dan los termopares o las resistencias Pt100. Estos módulos permiten conectar directamente termopares, Pt100, Ni 1000. El tratamiento de la señal del sensor se realiza internamente en el módulo figura 4.18, incluyendo también la compensación de la soldadura fría en los termopares.

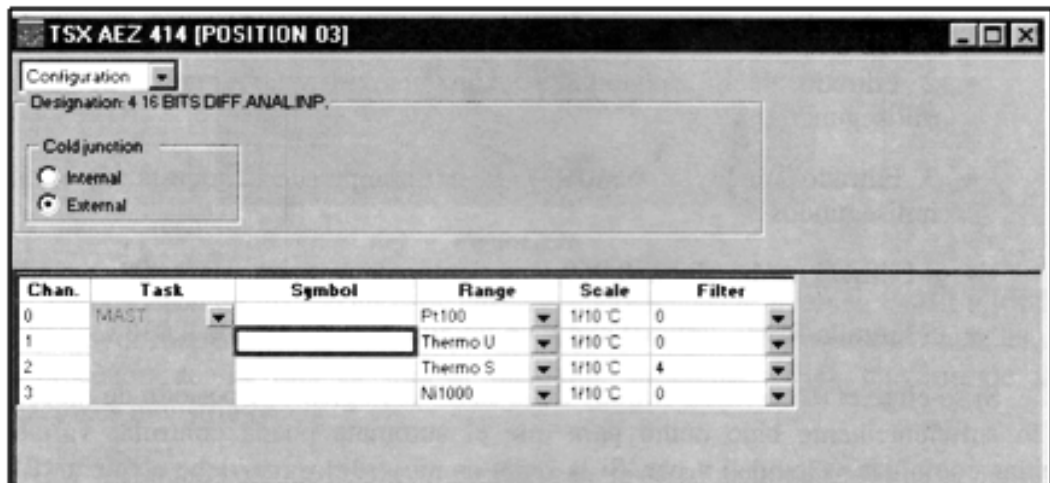


Figura 4.18 El tratamiento de la señal del sensor se realiza internamente en el módulo



Figura 4.19

En la Figura 4.19 se observa la configuración de un módulo de 4 entradas analógicas de 16 bits. El módulo permite la conexión de diferentes sensores de temperatura, realizándose la conversión, en el caso de que no exista filtrado, en un tiempo mínimo de 520 ms. Si se configura un filtrado 5 el tiempo de respuesta es de 33 segundos. Estos valores de tiempo tan altos son debidos a que la señal debe ser tratada electrónicamente, debe ser filtrada, y a continuación convertida en señal numérica con una precisión de 16 bits. Esta precisión es muy alta, si el rango de entrada fuera de 0...10 voltios, el bit menos significativo equivale a

$$\frac{10}{2^{16}} = 0.00015 \text{ Voltios}$$

La escala de la conversión temperatura-variable numérica también es configurable en el módulo. En la Figura 4.20 se puede observar: si la temperatura medida es de -200°C se volcará un 0 en la variable numérica del autómatas, y si la temperatura es de 850°C en la variable se volcará 10000.

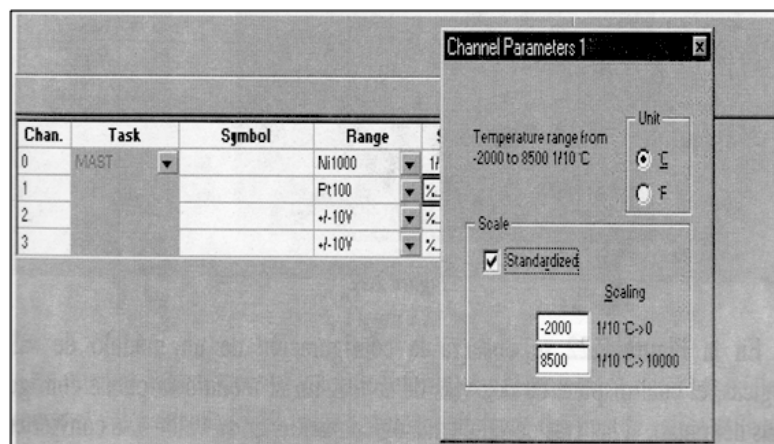


Figura 4.20 rangos de temperatura para volcado.

4.3.2 Salidas analógicas

Los módulos de salida analógica permiten que el valor de una variable numérica interna del autómatas se convierta en tensión o en intensidad. Esta tensión o intensidad puede servir de referencia de mando para actuadores que admitan mando analógico, como pueden ser los variadores de velocidad, las etapas de tiristores de los hornos, reguladores de temperatura, reguladores de caudal, etc., permitiendo al autómatas realizar funciones de regulación y control de procesos continuos. La precisión en los módulos de salida analógica suele ir desde los 12 a los 14 bits (suele ser menor que la de los módulos de entrada). No tienen problemas de velocidad, dado que la conversión digital-analógica es prácticamente instantánea.

Cada salida se caracteriza por el tipo de señal suministrada que puede ser intensidad o tensión y por el rango $0 \dots 10$ Voltios, ± 10 Voltios, $0 \dots 20$ mA, $4 \dots 20$ mA.

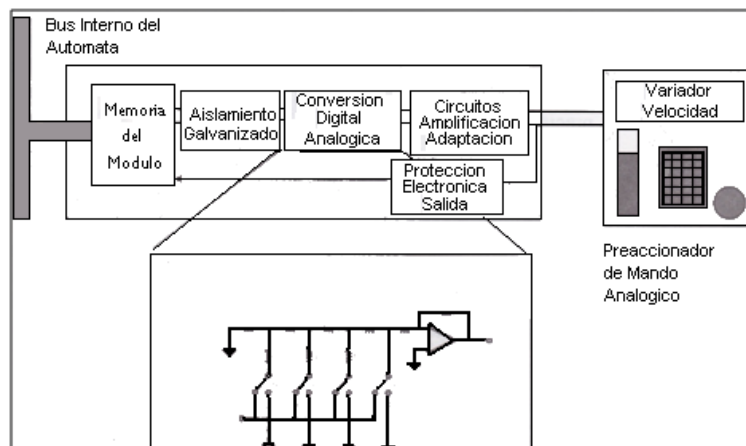


Figura 4.21 tratamiento de la señal de salida analógica.

En la Figura 4.22 se observa la configuración de un módulo de salidas analógicas, el cual dispone de dos vías de salida. En el módulo se puede configurar, además del rango, si las vías de salida analógica mantienen su valor o se convierten en cero cuando el autómata detecta un fallo interno.

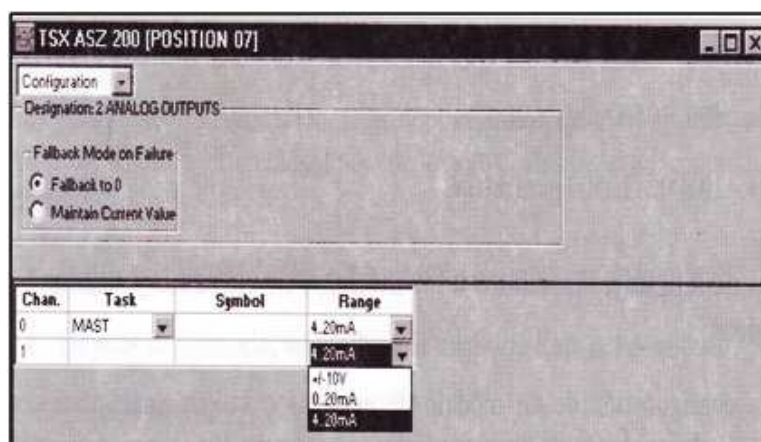


Figura 4.22 configuración de un módulo de salidas analógicas.

Protección de los módulos de Salidas Analógicas

Si el programa se detiene, las salidas analógicas deben ponerse en un estado no perjudicial para la aplicación. Este estado, llamado posición de retorno, se define para cada módulo en la configuración de las salidas. La configuración permite elegir:

- Retorno de las salidas a un valor. 0 es el valor predeterminado.
- Conservación del estado: las salidas permanecen en el estado anterior al Paro.

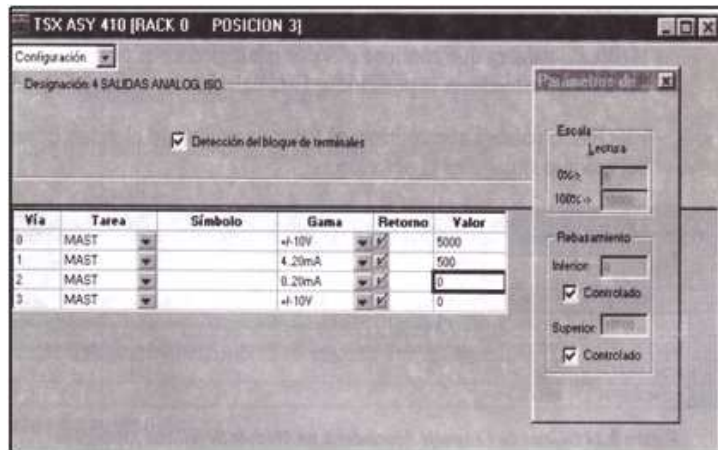


Figura 4.23 protección de los módulos.

En muchas aplicaciones el valor de retorno es diferente de 0, entonces se deberá programar el valor adecuado. El valor de retorno depende del tipo de salida utilizada:

- 0...10500 para 0-20mA.
- 500... 10500 para 4...20 mA.
- 10500...+10500 para $\pm 10V$.

4.4 Objetos de lenguaje Asociados a los módulos de entradas y salidas Analógicas

La configuración de un módulo de entradas o salidas analógicas genera un conjunto de objetos lenguaje necesarios para la programación y para el diagnóstico de este módulo.

Los objetos de intercambio implícito se intercambian automáticamente en cada ciclo de la tarea en la que las vías del módulo o de la interfaz integrada se configuran.

- **Bits**

- %Ix. MOD.ERR: bit de falla del módulo. En el estado 1, este bit señala un fallo del módulo situado en la posición x.

- %Ix.i.ERR: bit de falla de la vía. En el estado 1, este bit señala un fallo de la vía i del módulo situado en la posición x.

- **Palabras**

- %IWx.i: palabra que contiene el valor analógico en el punto de entrada i del módulo situado en la posición x. Esta palabra es escrita por el módulo.

- %QWx.i: palabra que contiene el valor analógico en el punto de salida i del módulo situado en la posición x.

Variable	Tipo	Símbolo	Comentario
%QV3.0	VORD	Velocidad_variador1	Señal analógica de control de velocidad en variador motor elevado
%QV3.1	VORD	Velocidad_variador2	Señal analógica de control de velocidad en variador motor rodillos
%CH3.MOD	CH		
%I3.MOD.ERR	EBOOL		

Figura 4.24 Objetos de Lenguaje Asociados a un Módulo de Salidas Analógicas.

4.5 Objetos de lenguaje del autómata

Los programas de Aplicación de Autómatas trabajan con variables conocidas como Objetos.

Existen diferentes tipos de objetos, clasificados según la función desempeñada:

- Objetos de Entrada- Salida asignados a los módulos de interfaz.
- Objetos de memoria, asignados a la memoria Ram del Autómata.
- Objetos Constantes.
- Objetos de Comunicación, para intercambio de información con otros autómatas.
- Objetos de sistema, para operaciones de sistema del Autómata.

Según la función del objeto se definen cinco tipos de objetos:

- Objetos de la zona de memoria M
- Objetos de la zona de entradas I
- Objetos de la zona de salidas Q
- Objetos de la zona de constantes K
- Objetos de la zona de sistema S
- Objetos de Comunicación N

Según el tamaño los objetos se clasifican en

- | | | |
|---------------------|---|---------|
| • Objeto bit | X | |
| • Objeto byte | B | 8 bits |
| • Objeto word | W | 16 bits |
| • Objeto doble Word | D | 32 bits |

4.6 Estructura de la memoria del autómata

La memoria del autómata se divide en diferentes Áreas:

- Área de datos
- Área de programa
- Área de configuración y de sistema

4.6.1 Área de datos

Esta área reúne los objetos vinculados a los datos de la configuración software.

- **Bits y Bits E/S**
 - Bits de memoria %Mi. Objetos de tipo binario, para almacenar estados o informaciones de tipo todo o nada.
 - Bits de sistema %SL. Objetos de tipo binario, realizan funciones especiales, relacionadas con el sistema operativo del autómata, con fallos, gestión de arranques en frío y re arranques en caliente.
 - Bits de entradas/salidas. Objetos de tipo binario, asociados a los módulos de entradas-salidas configurados en el autómata.
 - Bits asociados a Grafcet %Xi, %Xi.j. Objetos de tipo binario, asociados a las etapas del grafcet o de las Macroetapas.
- **Palabras**
 - Palabras %Mwi. Objetos de tipo palabra de 16 bits. Utilizados para almacenar

estados o informaciones de tipo numérico. Permiten su lectura y escritura desde el programa del usuario.

-Palabras sistema %Swi. Objetos de tipo palabra de 16 bits, realizan funciones especiales, relacionadas con el sistema operativo del autómeta, con fallos, gestión de arranques en frío y re arranques en caliente.

- Palabras asociadas a los bloques funcionales. Objetos de tipo palabra de 16 bits. Ejemplos: valor actual de contadores, valor actual de temporizadores, etc.

- Palabras asociadas a Grafcet %Xi.T, %xi.j.T. Objetos de tipo palabra de 16 bits. Asociados a las etapas del grafcet o de las Macroetapas.

- **Constantes**

- Constantes %Kwi. son palabras de 16 bits que solamente se pueden leer desde el programa de aplicación. La introducción de sus valores se realiza desde el software de programación.

- **Datos de E/S**

- Datos vinculados a la gestión de los módulos E/S y de las palabras (%IW, %QW, %MW).

- **DFB**

- Datos vinculados a los bloques funcionales definidos por el usuario.

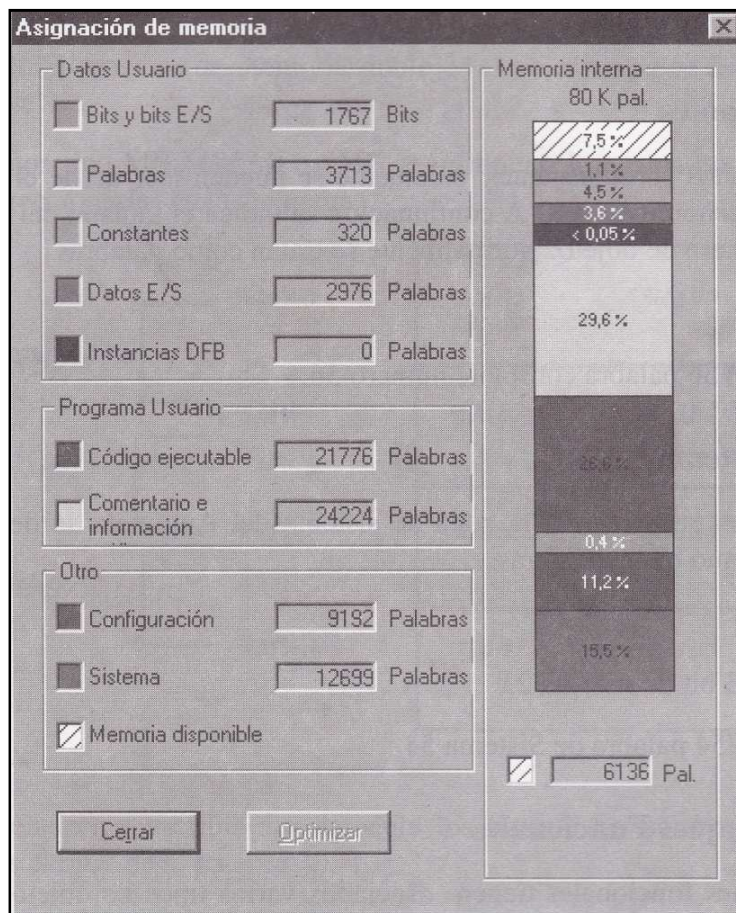


Figura 4.26

4.6.2 Área del Programa Usuario

- **Código ejecutable**
 - Contiene el código del programa de aplicación.
- **Comentarios e información gráfica**
 - Comentarios añadidos al programa. No se debe abusar, dado que ocupan memoria del autómata.

4.6.3 Área de configuración y de sistema

En esta área se almacenan los datos de configuración y de estructura de la aplicación, así como la memoria utilizada por el sistema operativo del Autómata en sus operaciones.

- **Configuración**

Configuración hardware del autómeta con los módulos de E/S configurados. Configuración software de Temporizadores, Registros, contadores, bloques funcionales predefinidos.

- **Sistema**

Pila de tareas, catálogos, datos utilizados para ejecución del programa.

Si el autómeta dispone de tarjeta de Ampliación de memoria, las Áreas se distribuyen entre las dos zonas de memoria (interna y tarjeta de Ampliación):

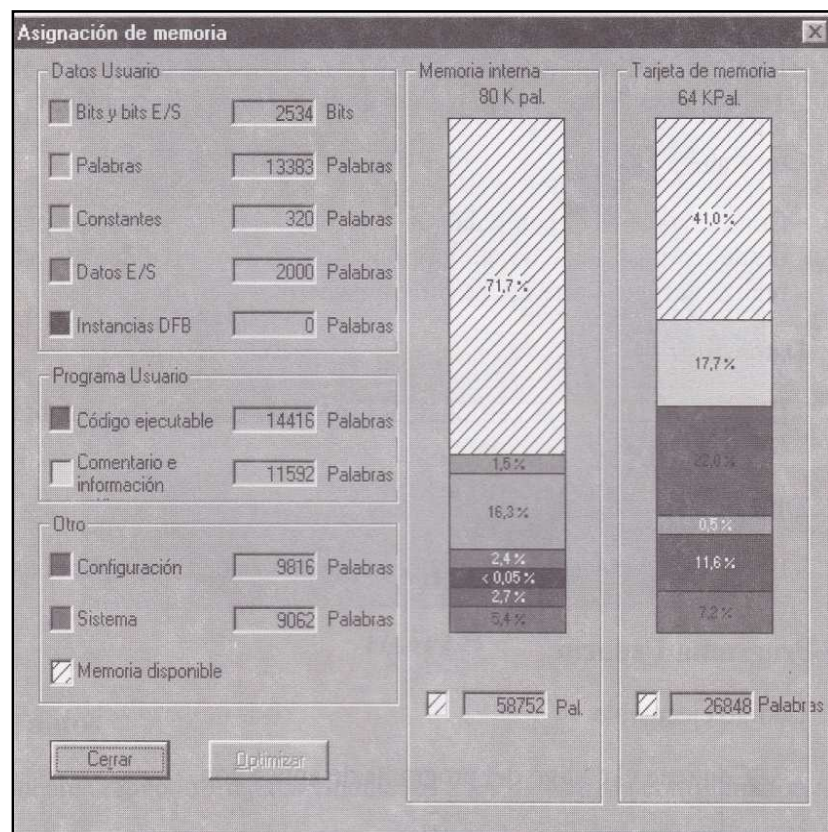


Figura4.27 Distribución de áreas con Tarjeta de Ampliación de Memoria.

Los autómetas programables disponen en el módulo procesador de una memoria FLASH EPROM. En esta memoria se almacena la aplicación y el contexto en el instante en que el autómeta detecta un corte de tensión.

También se puede utilizar para guardar el programa y las constantes, así como los datos de ajuste.

4.7 Captadores

La gama de captadores disponible en el mercado es muy amplia con el objeto de responder a los múltiples problemas de detección que se plantean en las máquinas de fabricación.

Los captadores basados en fenómenos eléctricos, magnéticos u ópticos adoptan una estructura general que se compone de tres etapas:

- **Sensor o captador**

Efectúa la conversión de las variaciones de una magnitud física en variaciones de una magnitud eléctrica o magnética.

- **Etapa de Tratamiento de la señal**

Puede o no existir, se encarga de efectuar el filtrado, amplificación y comparación de la señal mediante circuitos electrónicos.

- **Etapa de salida**

Esta etapa está formada por los circuitos de amplificación conversión o conmutación necesarios en la puesta en forma de la señal de salida.

Una primera clasificación de los captadores se puede establecer según el tipo de señal suministrada a la salida:

4.7.1 Captadores analógicos

Suministran una señal proporcional a una variable analógica, como pueden ser presión, temperatura, velocidad, posición.

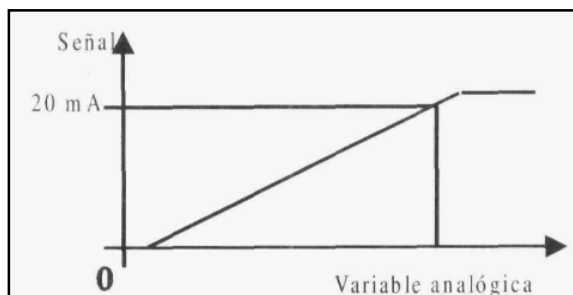


Figura 4.28

4.7.2 Captadores todo o nada

Este tipo de captador suministra una señal que solamente tiene dos estados, asociados al cierre o apertura de un contacto eléctrico, o bien a la conducción o corte de un interruptor estático como transistor o tiristor. Son los más utilizados en la automatización de movimiento y adoptan diferentes formas: finales de carrera, detector de proximidad inductivo, detector de proximidad capacitivo, fotocélulas.

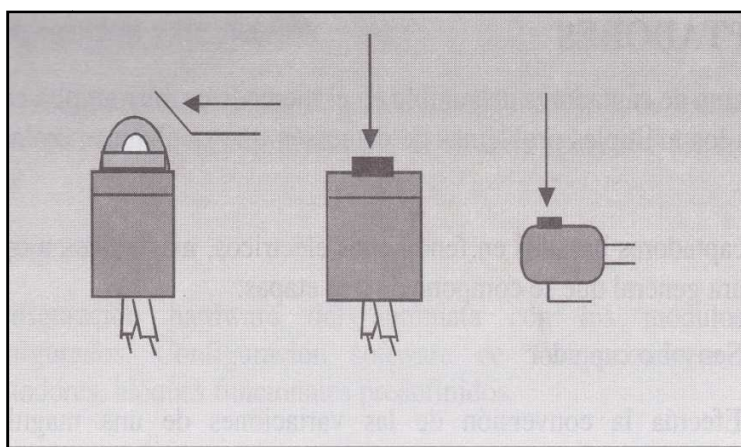


Figura 4.29

4.7.3 Captadores numéricos

Dan como salida una señal codificada y la transmisión de la señal la efectúan por medio de una comunicación tipo serie o paralelo (figura 4.30). Utilizan códigos binarios, Gray, BCD. Transmiten los valores numéricos precisando posiciones, presiones, temperaturas, etc en forma de combinaciones de señales 0-1 que se pueden leer, ya sea en paralelo en varios conductores o bien en serie en un solo conductor.

4.7.4 Finales de carrera

Los finales de carrera son captadores de conmutación electromecánica (figura 4.31 y figura 4.32), la detección del objeto por medio del cabezal hace conmutar los contactos eléctricos del final de carrera. Para que la señal del captador llegue al autómata se cablea un terminal del contacto a una fuente de alimentación y el otro terminal a una entrada digital del autómata. El cierre del contacto hace que la tensión llegue a la entrada digital.

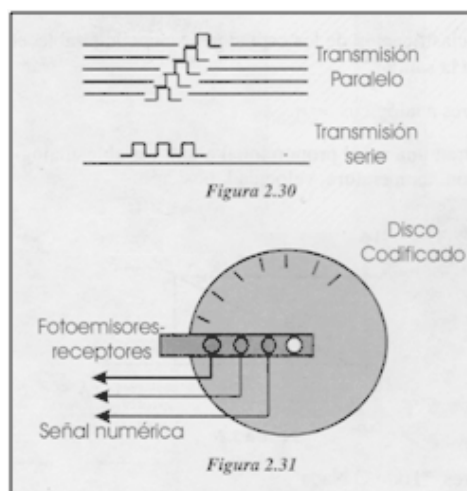


Figura 4.30 Captadores numéricos.



Figura 4.31 Finales de carrera.



Figura 4.32 Finales de carrera.

4.7.5 Detectores inductivos

Este tipo de detectores se utilizan para detectar piezas o elementos metálicos en distancias que van desde los cero a los treinta milímetros.



Figura 4.33

El Principio de funcionamiento consiste en la posibilidad de influenciar desde el exterior un oscilador HF completado con un circuito resonante LC. Un núcleo de ferrita con un bobinado oscilante genera por encima de la cara sensible un campo magnético variable. Al introducirse una pieza metálica en el campo magnético se producen corrientes de Foucault que influyen el oscilador y provocan una debilitación de circuito oscilante. Como consecuencia se produce una disminución de la amplitud de las oscilaciones.

Un circuito detecta esta variación de amplitud y determina una conmutación de la señal dada por el sensor.

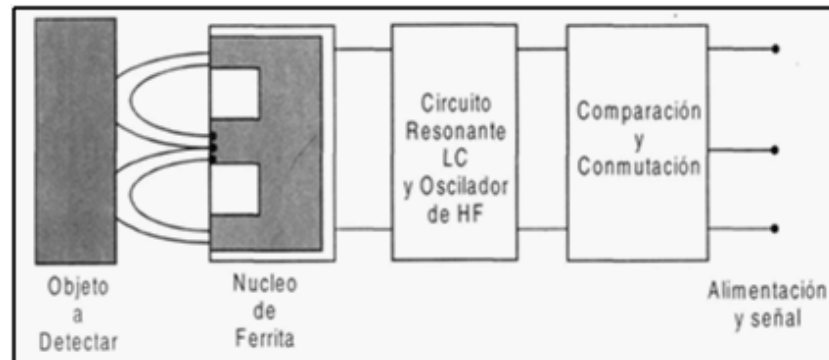


Figura 4.34 Esquema de Funcionamiento de un detector de proximidad inductivo.

Características de Funcionamiento

- Conmutación sin realizar esfuerzo mecánico
- No existe desgaste
- Insensible a las influencias externas
- Larga Duración
- Gran precisión en el punto de conmutación
- Frecuencia de conmutación elevada

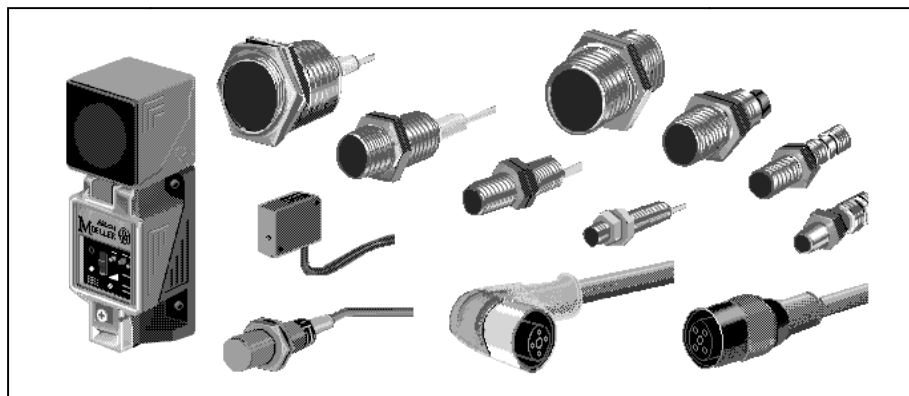


Figura 4.35

Existen detectores inductivos con salida analógica que indica la distancia del objeto al detector. La variación de amplitud de la oscilación, provocada por la presencia del objeto frente al detector, puede servir para conseguir una señal analógica proporcional a la distancia del objeto. Cuando un objeto metálico se aproxima a la cara activa del detector, la energía del oscilador se debilita. Este debilitamiento provoca una disminución de Amplitud en la oscilación. Esa disminución de amplitud es proporcional a la distancia entre el detector y el objeto. La señal obtenida se linealiza y amplifica. Se dispone de salidas 0..10V y/o 0..20 mA. El rango de medida es muy reducido, limitándose a distancias en el rango de los 1 a 11 milímetros.

4.7.6 Detectores capacitivos

Los detectores capacitivos permiten la detección sin contacto de materiales conductores y no conductores, como pueden ser madera, vidrio, cartón, plástico, cerámica, fluidos, etc.

- **Aplicaciones:** Control de Nivel de depósitos.

Control de nivel de tolvas o silos.

En bobinadoras de hilo, señalización de la rotura de hilo. En

bobinadoras de papel, señalización de la rotura de hilo.

La cara activa de los detectores capacitivos está formada por dos electrodos metálicos colocados concéntricamente. Se pueden imaginar como dos electrodos de un condensador abierto. Las caras de este condensador forman un acoplamiento reactivo con un oscilador de alta frecuencia, regulado de tal forma que no provoca interferencias en el caso de la cara activa libre. Si un objeto se aproxima a la cara activa se introduce en el campo eléctrico de los electrodos, lo que provoca un aumento del acoplamiento capacitivo de los electrodos y el oscilador comienza a oscilar. Un amplificador analiza la oscilación y la transforma en una conmutación.

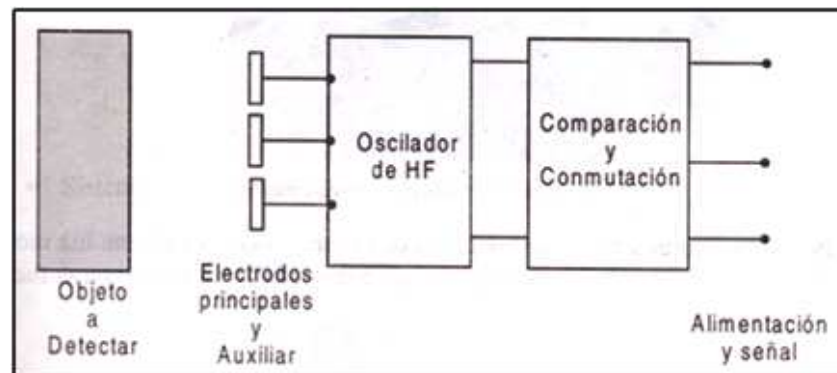


Figura 4.36 Esquema de funcionamiento de un detector capacitivo

Los detectores capacitivos son influenciados tanto por objetos conductores como por los no conductores. Los metales, dada su alta conductividad, se detectan a grandes distancias. La sensibilidad de estos detectores está muy relacionada con el tipo de material que se va a detectar así como por el grado de humedad ambiental y el contenido en agua del cuerpo. En caso de detección de materia orgánica como madera, la distancia de detección está fuertemente influenciada por el contenido en agua.

Cuando el objeto a detectar es aislante su distancia de detección será mayor cuanto mayor sea la constante dieléctrica, dado que aumenta el acoplamiento capacitivo. Para reducir este problema estos detectores llevan un ajuste de sensibilidad según el tipo de material a detectar.

4.7.7 Detectores magneto/inductivos

Se aplican fundamentalmente en la detección de posición de cilindros neumáticos. El imán permanente fijado en el pistón del cilindro satura con su campo magnético el núcleo de la bobina del detector. De esta forma se varía la corriente que circula por un circuito oscilante. Esta variación la detecta un circuito que la transforma en una señal de conmutación.

4.7.8 Detectores fotoeléctricos

Los detectores fotoeléctricos incorporan un emisor y un receptor. El receptor reacciona ante las variaciones de la luz que es emitida por el emisor. El tratamiento de la variación de la luz se transforma en una activación de la salida. La activación de la salida por luz se denomina "conmutación por luz". La activación de la salida por interrupción del rayo de luz se denomina "conmutación por oscuridad".



Figura 4.37 *Detector Fotoeléctrico*

En los detectores fotoeléctricos la luz que emite el emisor es una luz modulada, de esta forma se eliminan las perturbaciones debidas a la luz solar o a otras fuentes de luz.

4.7.8.1 Modos de funcionamiento

Palpación directa

El emisor y el receptor se encuentran en la misma unidad. El haz de luz se refleja en el objeto y es tratado por el receptor.

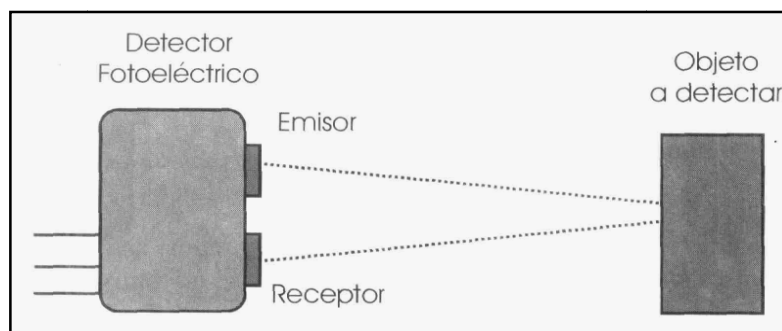


Figura 4.38

Sistema Enfocado

Es prácticamente idéntico a la palpación directa. Pero el punto de enfoque, por medio de una lente convergente, se encuentra a una distancia prefijada del receptor.

Solo la reflexión en un objeto a esa distancia provoca la activación de la salida.

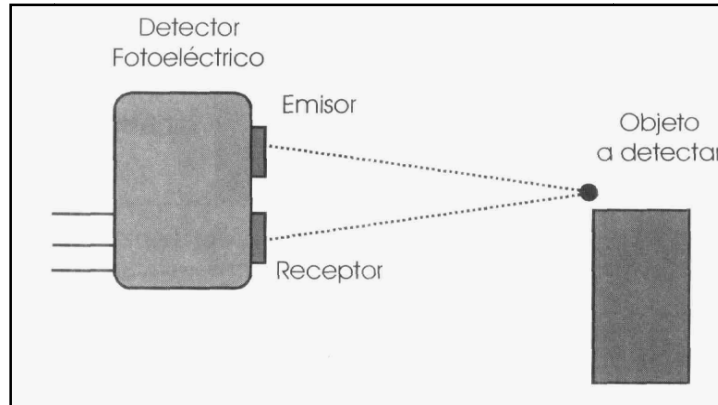


Figura 4.39

Sistema Emisor/Receptor

Consta de dos aparatos: el emisor y el receptor. La interrupción del haz de luz provoca la conmutación.

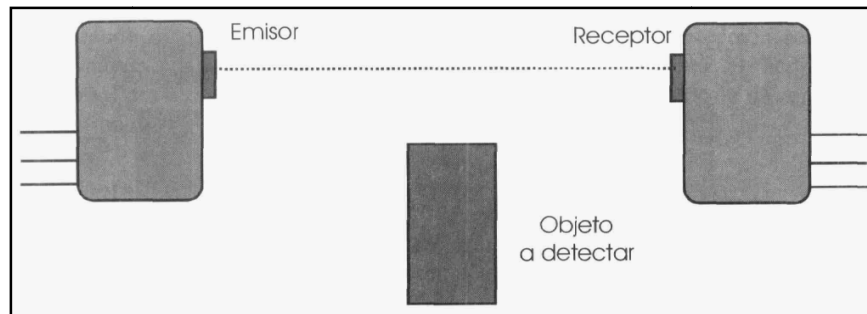


Figura 4.40 Sistema Emisor/Receptor.

Sistema de barrera

El haz de luz es reflejado mediante un reflector. La conmutación se produce cuando un objeto interrumpe el haz.

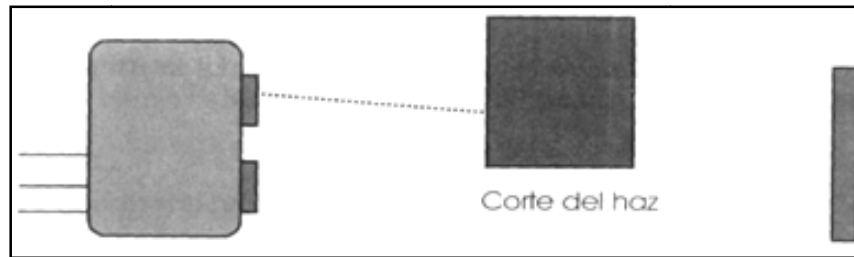


Figura 4.41 Sistema de Barrera.

En comparación con los demás tipos de detectores de proximidad, los detectores fotoeléctricos presentan las siguientes ventajas:

- Distancias de detección mucho más grandes que en el caso de los capacitivos e inductivos. Se pueden obtener hasta 500 metros en modo barrera y 5 metros en reflexión.
- Permiten la identificación de colores y de objetos de pequeño tamaño (décimas de milímetro).

Estos sistemas anteriormente mencionados se pueden completar con fibras ópticas, lo cual permite un mayor número de aplicaciones. De esta forma los puntos de emisión y recepción de luz pueden estar separados del propio aparato. La detección de objetos puede llevarse a puntos donde es imposible o sería muy difícil colocar fotocélulas.

4.7.9 Selección de captadores

En función de las propiedades descritas de los captadores se propone la siguiente tabla como guía de elección en función del tipo de material y de la distancia de detección.

Materiales		Distancia	Detector recomendado
Sólido	Metálico	<4cm	Inductivo
		>4cm	Óptico
	No Metálico	<4cm	Capacitivo
		>4cm	Óptico
Polvo o Granulados	Metálico	<4cm	Inductivo
		>4cm	Ultrasónico
	No Metálico	<4cm	Capacitivo
		>4cm	Ultrasónico
Líquido	Transparente	<4cm	Capacitivo
		>4cm	Ultrasónico
	Opaco	<4cm	Capacitivo
		>4cm	Óptico

Figura 4.43

CAPITULO 5

DESCRIPCION GENERAL DEL EQUIPO DE TRABAJO

5.1 Función principal del equipo controlado por PLC.

La función principal del equipo es clasificar de una forma automática diferentes piezas cilíndricas de 2 formas:

a.- Tamaño (altura).

b.- Material.

Esto se logra mediante la detección a través de 2 tipos de sensores, sensor óptico y sensor inductivo respectivamente, que a su vez mandan señales que son procesadas por un PLC que indica instrucciones a electroválvulas que gobiernan 2 cilindros de doble efecto que separan las piezas según sea el caso.

A continuación se da una breve descripción del proceso de operación de la maquina:

1.- primeramente las piezas se encuentran colocadas dentro de un recipiente “DEPOSITO”, estas se mantienen ahí hasta que se da la instrucción de “START” en la maquina; después de haber dado la orden de comienzo en la maquina, existe un sensor que indica si existen piezas a clasificar en el depósito ó si el depósito se encuentra vacío; en la suposición que existan piezas a ser clasificadas estas son expulsadas por un cilindro de simple efecto tal como se muestra en la figura 5.1.

2.- Una vez que las piezas se encuentren fuera del depósito, estas son transportadas por medio de una banda, que a su vez es gobernada de la siguiente manera:

El par motriz es generado por un motor eléctrico de 110V a una velocidad de 1100 rpm, este envía la fuerza motriz a través de un juego de engranajes cónicos tal como se muestra

en la figura 5.2 el cual deberá de mantener la velocidad y una vez que la transmisión sea trasportada por dichos engranes, llega a otro juego de engranajes, sin fin + corona que reducirán la velocidad hasta 20 rpm (ver figura 5.2).

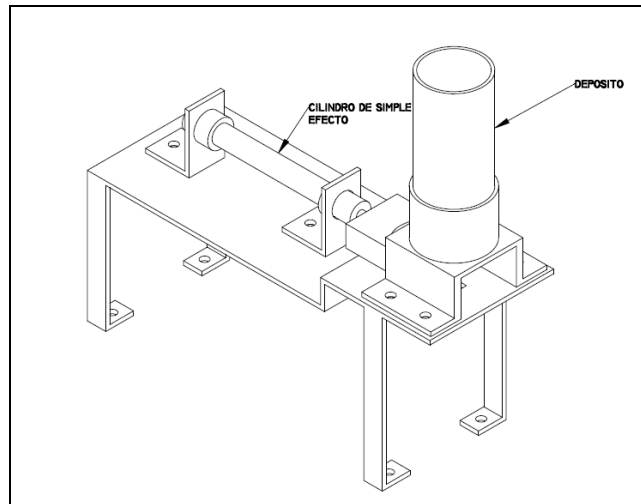


Figura 5.1 Esquema que muestra la forma en la cual las piezas son alojadas dentro de un depósito hasta que se dé la orden de marcha.

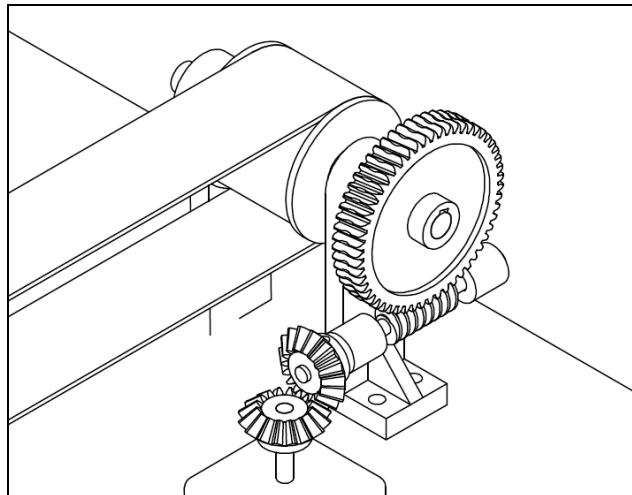


Figura 5.2 Acá se presenta la forma en la cual se genera el movimiento a partir del motor, pasando primeramente por el juego de engranes cónicos, para luego pasar por el tornillo sin fin y rueda helicoidal.

Ya ajustada la velocidad de transporte de las piezas, estas pasan por 2 sensores, y las piezas son colocadas en las rampas indicadas según figura 5.3.

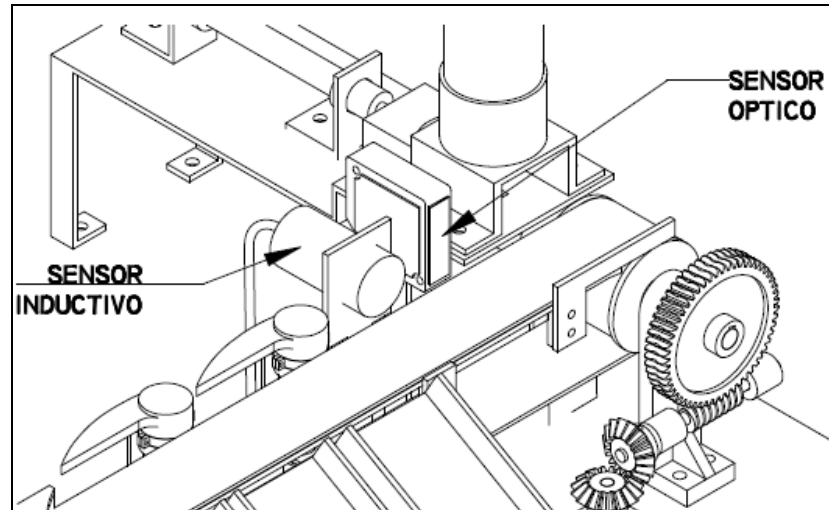


Figura 5.3 Luego que las piezas han sido desalojadas del depósito, estas caen sobre la banda transportadora, para ser detectadas según sea el caso por el sensor inductivo ó el sensor óptico.

- **Sensor óptico:** Este sensor tiene la cualidad de indicar que piezas tienen un tamaño más alto con respecto a las otras. De esta forma se envía una señal al PLC para generar una orden a la electroválvula, y esta a su vez pueda gobernar al primer cilindro neumático clasificando las piezas en la primera y tercera rampa (tómese en cuenta que la ultima rampa no es gobernada neumáticamente de modo que ahí se depositan las piezas con menor tamaño)-la segunda rampa es precisamente para separación por materiales conductores (metales)-

- **Sensor inductivo:** Este sensor se encarga de clasificar las piezas de acuerdo al material del cual están hechas, de la misma forma que el sensor óptico este envía una señal al PLC el cual controla también una electroválvula para que envíe suministro de aire al segundo cilindro neumático, de modo que la pieza se pueda desplazar en la segunda rampa.

3.- Una vez que las piezas sean clasificadas según la forma anteriormente detallada, estas pasan a través de la rampa y son detectadas por otro sensor óptico, que emite una señal a la unidad de control lógico indicando que se puede proceder a retirar nuevamente otra pieza del depósito figura 5.4.

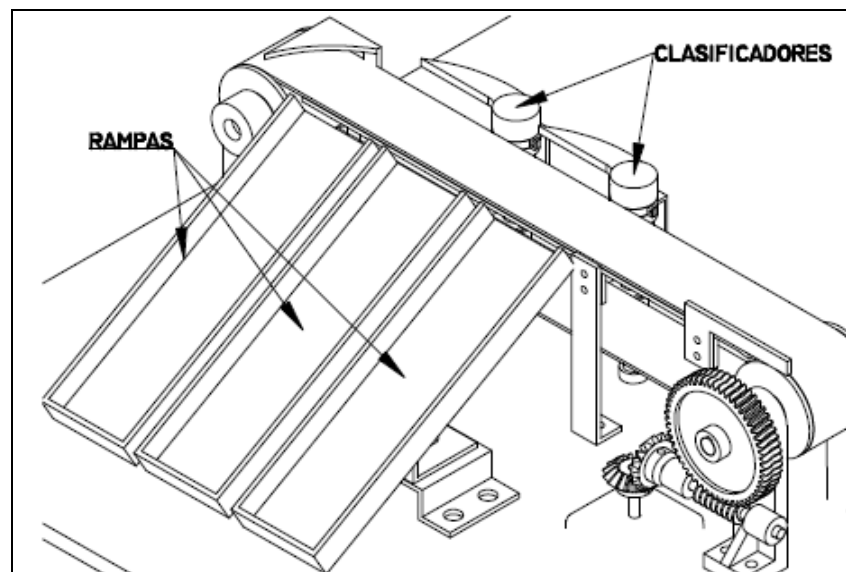


Figura 5.4 En esta figura se muestra la clasificación generada, obsérvese que los clasificadores separan las piezas de la banda transportadora hacia las rampas señaladas, considerando además que la primera rampa es la que está más cerca a la transmisión.

5.2 Mesa de trabajo

La mesa de trabajo se distribuye de la siguiente manera según figura 5.5.

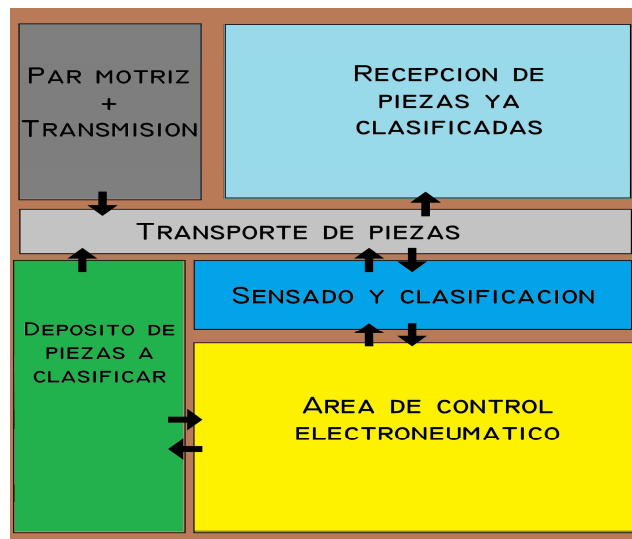


Figura 5.5. Este esquema representa la relación que existe entre los diferentes procesos ó módulos que conlleva el proceso de clasificación.

De esa forma se distribuyen así los diferentes subsistemas que componen al conjunto total de clasificación, Según:

1.- Área de control electro neumático: Esta se compone por la unidad principal de control (PLC), manifold de alimentación de aire comprimido a cilindros neumáticos, así como también de las unidades de alimentación a electroválvulas y PLC.

2.- Deposito de piezas a clasificar: Se compone principalmente por un cilindro de simple efecto con carrera de 50mm que permite desplazar las piezas que se encuentran dentro de un vaso. Las piezas cilíndricas desplazadas tienen las siguientes dimensiones: $\varnothing 40 \times 20 \text{mm}$ y $\varnothing 40 \times 28 \text{mm}$.

3.- Motor y transmisión: La parte principal que permite la movilización de las piezas radica en este punto, está constituido por un motor de 110V, con una velocidad de 1100rpm, transmitiendo el par a un juego de engranes cónicos, que a su vez conectan con un juego de tornillo sin fin y rueda helicoidal, de este modo, y tal como se verá posteriormente se genera la transmisión del par desde el motor hasta la banda transportadora.

4.- Transportación de piezas: La transportación de la piezas se da a través de una banda de poliéster con algodón con un ancho de 50mm, esta se moviliza por medio de un rodillo que se encuentra conectado directamente con la rueda proveniente del juego de transmisión del motor, este rodillo gira a una velocidad de 20rpm, haciendo que la banda se desplace 5cm/s.

5.- Detección y clasificación de piezas. En esta etapa, las piezas son detectadas por dos sensores (óptico e inductivo), que envían información a la unidad de control destacando precisamente ya sea el material ó tamaño de la pieza, para después de esto ser clasificadas por dos electrovalvulas de doble efecto, que cambian el curso de viaje de las piezas.

6.- Deposito de piezas ya clasificadas. Dependiendo de la clasificación que se pudiera producir, las piezas pueden caer en 3 rampas, estas según: material (ferroso, no ferroso) y altura de las piezas.

5.3 Parámetros de diseño

Según nuestro diseño, existen ciertas variables que se consideraron en el momento de diseño según:

- 1.- Velocidad de transportación de piezas.
- 2.- Tiempo de respuesta de los sensores y PLC.
- 3.- Tiempo de reacción de cilindros neumáticos.
- 4.- Presión de trabajo en el sistema neumático.
- 5.- Angulo de desviación en separadores.
- 6.-Relacion de velocidad en piñones-motor.
- 7.-Distancia de detección para sensores.

5.4 Dimensionamiento

A continuación se da una idea del dimensionamiento globalizado según las partes que compondrían la mesa de trabajo, basados según sección 5.1. Cabe destacar que estas dimensiones podrían presentar modificaciones sea el caso por ejemplo que presenten interferencias entre piezas a la hora del ensamble.

- Unidad de control: 305x190 mm.
- Depósito de piezas a clasificar: 116x272 mm.
- Motor y transmisión: 126x175mm.
- Transporte de piezas: 422x44mm.
- Detección y clasificación de piezas: 301x69mm.
- Depósito de piezas ya clasificadas: 281x175mm.

5.5 Elementos que componen la maquina clasificadora

Los elementos que componen la maquina clasificadora se enumeran de la siguiente manera:

- 1.- Transmisión.
- 2.- Banda transportadora y soportes.
- 3.- Deposito contenedor de piezas.
- 4.- Elementos separadores.
- 5.- Deposito de piezas ya clasificadas.
- 6.- Sensado y cableado.
- 7.- Selección de sensores y PLC.
- 8.- Circuito eléctrico de controladores.
- 9.- Circuito neumático de elementos separadores.

Valga la mención que en este apartado (capitulo 6) solamente se considerara lo que es la parte mecánica de nuestra maquina, dejando a un lado la parte electroneumatica para el capitulo 7 respectivamente.

5.5.1 Transmisión

5.5.1.1 Engranajes sinfín

Un engranaje de sinfín está formado por un tornillo sinfín y una rueda helicoidal. Este engranaje une flechas que no son paralelas y que no se cruzan, por lo común en ángulo recto una con la otra. El tornillo sinfín es un engrane helicoidal, con un ángulo de hélice tan grande que un solo diente se enrolla de manera continua alrededor de su circunferencia. El tornillo sinfín se parece a la rosca de un tornillo común, y la rueda es como su tuerca. La distancia que un punto sobre el engrane acoplado (tuerca) se mueve axialmente en una revolución del tornillo sinfín se conoce como avance L , y el avance dividido entre la circunferencia de paso πd del tornillo sinfín es la tangente de su ángulo de avance λ .

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d} \quad (5.1)$$

Los tornillos sinfín tienen sólo un diente (o rosca) y, por lo tanto, es posible crear razones tan grandes como el número de dientes de la rueda respectiva. Esta capacidad de conseguir elevadas razones en un volumen compacto es una de las ventajas principales del tornillo sinfín sobre otras posibles configuraciones de engranaje, la mayor parte de las cuales están limitadas a una razón de 10:1 por cada par de engranes. Es posible producir engranajes de sinfín con razones de 1:1 hasta 360:1, aunque el rango usual disponible en catálogo es de 3:1 hasta 100:1. Las razones superiores a 6:1 por lo general tienen un tornillo sinfín de una sola rosca, y las razones inferiores a dicho valor a menudo utilizan tornillo sinfín de rosca múltiple. El número de roscas en el tornillo sinfín también se conoce como número de inicios. Un tornillo sinfín de dos o de tres inicios pudiera aplicarse, por ejemplo, para un engranaje de sinfín de baja razón. El paso axial P_x del del tornillo sinfín es igual al paso circular p_c de la rueda helicoidal y está relacionado con el avance L según el número de inicios escogidos o el número de dientes N_w en el tornillo sinfín.

$$P_x = \frac{L}{N_w} = P_c = \frac{\pi d_g}{N_g} \quad (5.2)$$

Donde d_g es el diámetro de paso y N_g es el número de dientes en la rueda. El número de inicios N_w por lo general es de entre 1 y 10 para engranajes de sinfín comerciales, aunque en juegos de engranajes de sinfín grandes es posible recurrir a muchos más inicios.

Otra ventaja de los engranajes de sinfín sobre otros tipos de engranajes es su capacidad de autobloqueo. Si el engranaje de sinfín es de autobloqueo, no irá hacia atrás, es decir, un par de torsión aplicado a la rueda helicoidal no hará girar al tornillo sinfín. Un engranaje de sinfín autobloqueante sólo puede ser "impulsado" hacia adelante, desde el tornillo sinfín hacia la rueda. Por ello suele utilizarse para sujetar cargas, como al elevar un automóvil. Los ángulos de presión estándar para engranajes de sinfín son 14.5, 17.5, 20, 22.5, 25, 27.5 o 30°. Ángulos de presión superiores dan dientes de resistencia más elevada, a costa de mayor fricción, mayores cargas en los cojinetes y esfuerzos a flexión más elevados en el tornillo sinfín. Para aplicaciones de alta potencia a alta velocidad, deberá recurrirse a una rueda de paso relativamente fino. Altos pares de torsión a baja velocidad necesitan un paso más abierto y diámetros más grandes de tornillo sinfín.

La forma del diente de los tornillos sinfín y las ruedas no es involuta, y en el acoplamiento hay elevados componentes de velocidad de deslizamiento. Los tornillos sinfín y las ruedas respectivas no son intercambiables, sino que se fabrican y reemplazan como juegos pareados. Para incrementar el área de contacto entre dientes, se aplican formas de dientes de una envoltura o de doble envoltura. Un juego de una sola envoltura envuelve parcialmente el diente de la rueda alrededor del tornillo sinfín. Un juego de doble envoltura también envuelve parcialmente el tornillo sinfín alrededor de la rueda, haciendo que el tornillo sinfín tenga forma de reloj de arena, en vez de cilindro. Estas configuraciones incrementan la complejidad y el costo de su fabricación, pero también aumentan la capacidad de carga. Ambos tipos están en el comercio.

Geometría del engranaje de sinfín

Los diámetros de paso y el número de dientes de engranajes que no son de sinfín tienen una relación única, pero esto no es cierto en los engranajes de sinfín. Una vez tomada la decisión en relación con el número de inicios en los dientes N_w deseados del tornillo sinfín,

el número de dientes de la rueda N_g queda definido por la razón requerida de engranaje m_G :

$$N_g = m_G N_w \quad (5.3)$$

Sin embargo, el diámetro de paso del tornillo sinfín no está ligado a estos números de dientes, como ocurre en otros engranajes. En teoría, el tornillo sinfín puede tener cualquier diámetro, siempre y cuando la sección transversal de sus dientes (paso axial) coincida con el paso circular de la rueda. Por lo que el diámetro de paso del tornillo sinfín d puede ser seleccionado aparte del diámetro d_g de la rueda y, para un d_w dado, cualquier modificación en d variará la distancia entre centros C entre el tornillo sinfín y la rueda, pero sin afectar la razón de engrane. AGMA recomienda valores mínimos y máximos para el diámetro de paso del tornillo sinfín, como:

$$\frac{C^{0.875}}{3} \leq d \leq \frac{C^{0.875}}{1.6} \quad (5.4)$$

Y Dudley recomienda que se use:

$$d \leq \frac{C^{0.875}}{2.2} \quad (5.5)$$

Queda más o menos a medio camino entre los límites de AGMA.

El diámetro de paso de la rueda d_g se puede relacionar con el correspondiente al tornillo sinfín, a través de la distancia entre centros C .

$$d_g = 2C - d \quad (5.6)$$

Se determina la altura de la cabeza a y la profundidad de la raíz b de los dientes a partir de:

$$a = 0.3183P_x \quad (5.7)$$

$$b = 0.3683P_x \quad (5.8)$$

El ancho de la cara de la rueda helicoidal está limitado por el diámetro del tornillo sin fin. AGMA recomienda un valor máximo para el ancho de la cara F como:

$$F_{\max} \leq 0.67d \quad (5.9)$$

Fuerzas en engranajes sin fin

En el acoplamiento de un engranaje sin fin, hay un estado tridimensional de cargas, sobre cada miembro actúan componentes tangenciales, radiales, y axiales, con un ángulo de 90° entre los ejes del tornillo sin fin y la rueda, la magnitud de la componente tangencial de la rueda F_{ig} es igual a la componente axial del tornillo sin fin F_{aw} y viceversa.

$$F_{ig} = F_{aw} = \frac{2T_g}{d_g} \quad (5.10)$$

Donde:

T_g : Par detorsión sobre la rueda.

d_g : Diámetro de paso de la rueda.

La fuerza axial F_{ag} sobre la rueda y la fuerza tangencial sobre el tornillo sin fin F_{tw} son:

$$F_{ag} = F_{tw} = \frac{2T_w}{d} \quad (5.11)$$

T_w : Par de torsión sobre tornillo sin fin.

d : Diámetro de paso del tornillo sin fin.

La fuerza radial que separa cada elemento es:

$$W_r = \frac{F_{tg} \tan \phi}{\cos \lambda} \quad (5.12)$$

Donde:

$$W_r = \frac{F_{tg} \tan \phi}{\cos \lambda} \quad (5.13)$$

ϕ : Angulo de presión.

λ : Angulo de avance.

La potencia de salida se define de la forma:

$$P_s = \frac{n F_{tg} d_g}{126000 m_G} [hp] \quad (5.14)$$

.

Donde:

n : Velocidad angular de la rueda [rpm]

F_{tg} : Carga tangencial.

d_g : Diámetro de paso de la rueda.

m_G : Relación de engranaje.

La potencia perdida se define:

$$P_p = \frac{V_F F_F}{33000} [hp] \quad (5.15)$$

Donde:

V_F : Velocidad de deslizamiento tangencial [Ft/min]

F_F : Carga por fricción [lb]

La carga tangencial de la rueda, se define a partir de:

$$W_{tg} = C_s C_m C_v d_g^{0.8} F \quad (5.16)$$

Donde:

C_s : Factor del material, en nuestro caso es el siguiente:

$$\text{Si } C_s < 8in \quad C_s = 1000 \quad (5.17)$$

$$\text{Si } C_s \geq 8in \quad C_s = 1411.6518 - 455.8219 \log d_g \quad (5.18)$$

C_m : Factor de corrección

$$\text{Si } 3 < m_G \leq 20 \quad C_m = 0.0200 \sqrt{-m_G^2 + 40m_G - 76 + 0.46} \quad (5.19)$$

$$\text{Si } 20 < m_G \leq 76 \quad C_m = 0.0107 \sqrt{-m_G^2 + 56m_G + 5145} \quad (5.20)$$

$$\text{Si } 76 < m_G \quad C_m = 1.1483 - 0.00658m_G \quad (5.21)$$

C_v : Factor de velocidad.

$$\text{Si } 0 < V_t \leq 700 \text{ [ftm]} \quad C_v = 0.659e^{-0.0011V_t} \quad (5.22)$$

$$\text{Si } 700 < V_t \leq 3000 \text{ [ftm]} \quad C_v = 13.31V_t^{-0.571} \quad (5.23)$$

$$\text{Si } 3000 < V_t \text{ [ftm]} \quad C_v = 65.52V_t^{-0.774} \quad (5.24)$$

La velocidad tangencial en el diámetro de paso del tornillo es:

$$V_t = \frac{\pi nd}{12 \cos \lambda} \quad (5.25)$$

La fuerza de fricción sobre la rueda es:

$$F_f = \frac{\mu F_{tg}}{\cos \lambda \cos \phi} \quad (5.26)$$

El coeficiente de fricción en un acoplamiento está en función de la velocidad, así tenemos entonces:

$$\text{Si } V_t = 0 \quad \mu = 0.15 \quad (5.27)$$

$$\text{Si } 0 < V_t < 10 \quad \mu = 0.124e^{-0.074V_t^{0.645}} \quad (5.28)$$

$$\text{Si } 10 < V_t \quad \mu = 0.103e^{-0.110V_t^{0.450}} + 0.012 \quad (5.29)$$

5.5.1.2 Engranajes cónicos

Los engranes cónicos se cortan sobre conos coincidentes en vez de sobre cilindros coincidentes de los engranes rectos o helicoidales. El ángulo entre sus ejes puede tener cualquier valor, y a menudo es de 90°. El contacto entre dientes de los engranes cónicos rectos o espirales tiene los mismos atributos que sus contrapartidas cilíndricas análogas, con el resultado que los cónicos espirales operan con mayor silencio y con mayor suavidad que los cónicos rectos, y con una misma capacidad de carga los espirales, pueden ser de menor diámetro.

Geometría y nomenclatura de los engranes cónicos

La figura 6.1 muestra una sección transversal de dos engranes cónicos acoplados. Sus ángulos de cono de paso se identifican como α_p y α_g para piñón y engrane, respectivamente; los diámetros de paso se definen sobre el extremo mayor en los conos posteriores. El ancho de cara F suele estar limitado a $L/3$ con L según:

$$L = \frac{r_p}{\text{sen}\alpha_p} = \frac{d_p}{2\text{sen}\alpha_p} = \frac{d_g}{2\text{sen}\alpha_g} \quad (5.30)$$

$$F = \frac{L}{3} \quad (5.31)$$

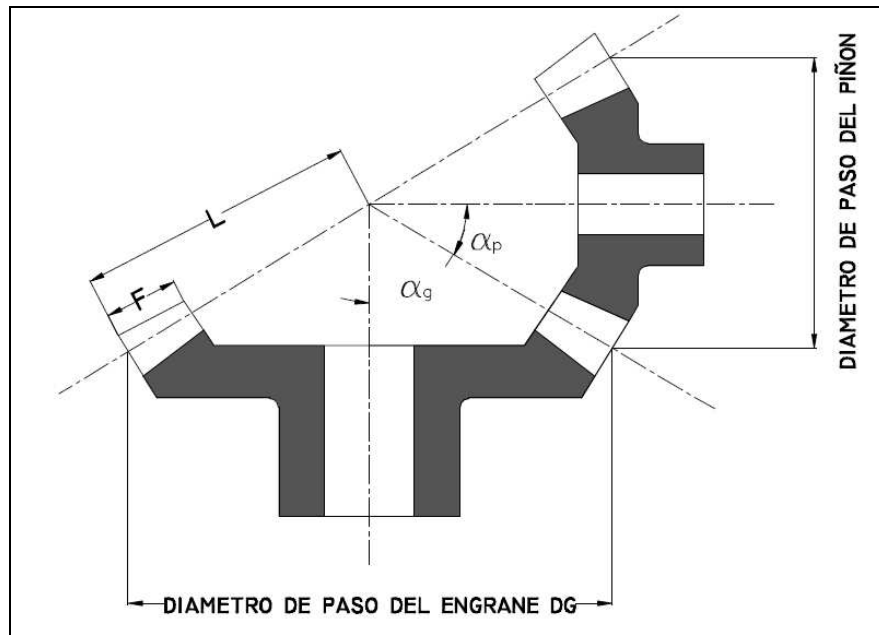


Figura 5.6 La presente figura muestra la geometría y algunas nomenclaturas utilizadas en el diseño de los engranes cónicos.

La razón de engranes m_G para un conjunto cónico a 90° se puede definir en función de los ángulos de cono de paso, de la forma:

$$m_G = \frac{\omega_p}{\omega_g} = \frac{N_g}{N_p} = \frac{d_g}{d_p} = \tan \alpha_g = \cot \alpha_p \quad (5.32)$$

Fuerzas en los engranes cónicos

Sobre un engrane cónico o uno en espiral actúan componentes de fuerzas tangenciales, radiales y axiales. En el caso nuestro de un engranaje recto tenemos:

$$F_a = F_t \tan \phi \operatorname{sen} \alpha \quad (5.33)$$

$$F_r = F_t \tan \phi \cos \alpha \quad (5.34)$$

$$F = F_t / \cos \phi \quad (5.35)$$

Donde:

F_t : Fuerza tangencial, aplicado a cualquier engrane

5.6 Diseño de la transmisión

La forma de desplazar las piezas es a través de una banda transportadora, dicha banda se mueve gracias a un juego de transmisión que se conforma de:

- 1.- Rodillo impulsor.
- 2.- Rueda dentada.
- 3.- Tornillo sin fin.
- 4.- Engranajes cónicos.
- 5.- Motor.

En el siguiente esquema, se muestra la posición de cada elemento en dicha transmisión. Considerando entonces, una velocidad media de transportación en la banda, de 5 cm/s, se parte de este punto para empezar a tomar las dimensiones necesarias para diseñar nuestro sistema de transmisión.

La velocidad de la banda se definió como $V = 5\text{ cm/s}$, en base a este valor se procede al diseño de los engranes.

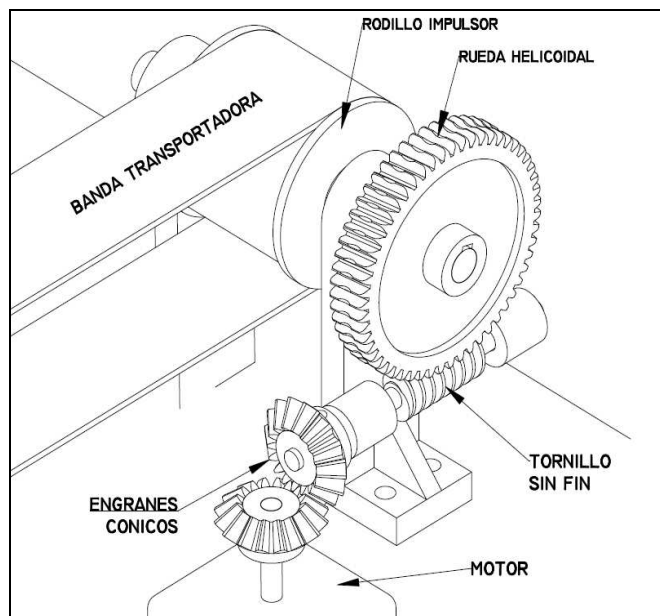


Figura 5.7 En la presente figura se muestra la configuración que tendrá la transmisión.

Primero decimos que el diámetro del rodillo impulsor que se encuentra acoplado a la rueda helicoidal es de 50mm, con esto determinamos la velocidad angular respectiva a dicho rodillo que de igual manera será el mismo que el de la rueda helicoidal.

$$V = \omega r$$

$$\omega = \frac{V}{r}$$

$$\omega = \frac{(0.05)}{(0.05 / 2)}$$

$$\omega = 2 \text{ rad / s}$$

Pasamos este valor a revoluciones por minuto:

$$\boxed{\omega \cong 20 \text{ rpm}}$$

Esta velocidad también se aplica al engrane helicoidal que esta acoplado al cilindro. Ahora tomamos la velocidad del motor que tiene un valor de 1100rpm, y teniendo en cuenta además que el engrane sin fin (gusano) es de un solo hilo, tendríamos una relación de 55:1. El diseño se realizara en base a un tornillo sinfín de un solo hilo, con un ángulo de presión de $\Phi = 20^\circ$. El tornillo sinfín y la rueda helicoidal será hecho de nylon, tomando en cuenta además que la rueda helicoidal tendrá un ángulo de hélice de $\Psi = 20^\circ$.

Un tornillo sin fin requerirá entonces de una rueda helicoidal de 55 dientes para obtener la razón deseada de 55:1.

Para este cálculo suponemos una distancia entre centros $C = 40 \text{ mm}$ y en base a dicha distancia, a partir de la ecuación 5.5, encontramos un diámetro adecuado del tornillo sinfín.

$$d = \frac{C^{0.875}}{2.2} = \frac{40^{0.875}}{2.2}$$

$$\boxed{d = 11.47 \text{ mm}}$$

De la ecuación 5.6 encontramos un diámetro adecuado para la rueda helicoidal.

$$d_g = 2C - d = 2(40) - 11.47$$

$$\boxed{d_g = 68.53mm}$$

Ahora determinamos el avance a partir de la ecuación 5.2.

$$L = \pi d_g \frac{N_w}{N_g} = \pi(68.53) \frac{1}{55}$$

$$\boxed{L = 3.91mm}$$

El ángulo de avance lo determinamos a partir de la ecuación 5.1.

$$\lambda = \tan^{-1} \frac{L}{\pi d} = \tan^{-1} \frac{3.91}{\pi \times 11.47}$$

$$\boxed{\lambda = 6.19^\circ}$$

Por último determinamos el ancho de cara máximo recomendado, partiendo de la ecuación 5.9.

$$F_{\max} \cong 0.67d = 0.67(11.47)$$

$$\boxed{F_{\max} \cong 7.68mm}$$

Análisis de fuerzas:

La carga tangencial de la rueda, se define según la ecuación 5.16 de la forma:

$$W_{tg} = C_s C_m C_v d_g^{0.8} F$$

Determinamos a continuación su valor así:

Ya que en primera instancia tomamos un valor entre centros de 40mm=1.57in, utilizamos la ecuación 5.17 que tiene un valor

$$C_s = 1000.$$

El factor C_m con base a $m_G = 55$ y según ecuación 5.21, tenemos:

$$C_m = 0.0107\sqrt{-m_G^2 + 56m_G + 5145} = 0.0107\sqrt{-(55)^2 + 56(55) + 5145}$$

$$\boxed{C_m = 0.772}$$

La velocidad tangencial a partir de la ecuación 5.26 es:

$$V_t = \frac{\pi nd}{12 \cos \lambda} = \frac{\pi 1100(0.452)}{12 \cos 6.19^\circ}$$

$$\boxed{V_t = 130.93} \text{ fpm}$$

Ahora procedemos a determinar el factor de velocidad según ecuación 5.23:

$$C_v = 0.659e^{-0.0011V_t} = 0.659e^{-0.0011(130.9)}$$

$$\boxed{C_v = 0.571}$$

Ahora se procede a determinar la carga tangencial:

$$W_{tg} = C_s C_m C_v d_g^{0.8} F = (1000)(0.772)(0.571)(2.69)^{0.8} (0.310)$$

$$\boxed{F_{tg} = 301.58} \text{ lb}$$

El coeficiente de fricción se determina utilizando la ecuación 5.29 $10 < V_t$

$$\mu = 0.103e^{-0.110V_t^{0.450}} + 0.012 = 0.103e^{-0.110(130.90)^{0.450}} + 0.012$$

$$\boxed{\mu = 0.05}$$

La fuerza de fricción entonces es:

$$F_f = \frac{\mu F_{tg}}{\cos \lambda \cos \phi} = \frac{0.05(301.58)}{\cos 6.19^\circ \cos 20^\circ}$$

$$\boxed{F_f = 16.14} \text{ lb}$$

Ahora calculamos la potencia nominal de salida:

$$P_s = \frac{nF_g d_g}{126000m_G} = \frac{(1100)(301.58)(2.73)}{126000(55)}$$

$$\boxed{P_s = 0.13} \text{ HP}$$

Determinando la potencia perdida en el acople según ecuación 5.15:

$$P_p = \frac{V_F F_F}{33000} = \frac{130.90(16.14)}{33000}$$

$$\boxed{P_p = 0.06} \text{ HP}$$

La potencia nominal de entrada es entonces:

$$P_n = P_s + P_f = 0.13 + 0.06$$

$$\boxed{P_n = 0.18} \text{ HP}$$

Eficiencia de engranaje:

$$\eta = \frac{P_s}{P_n} = \frac{0.13}{0.18} \times 100\%$$

$$\boxed{\eta = 72.22\%}$$

Una vez obtenidas las dimensiones entre la rueda helicoidal y el tornillo sin fin, procedemos a diseñar el acople entre engranes cónicos.

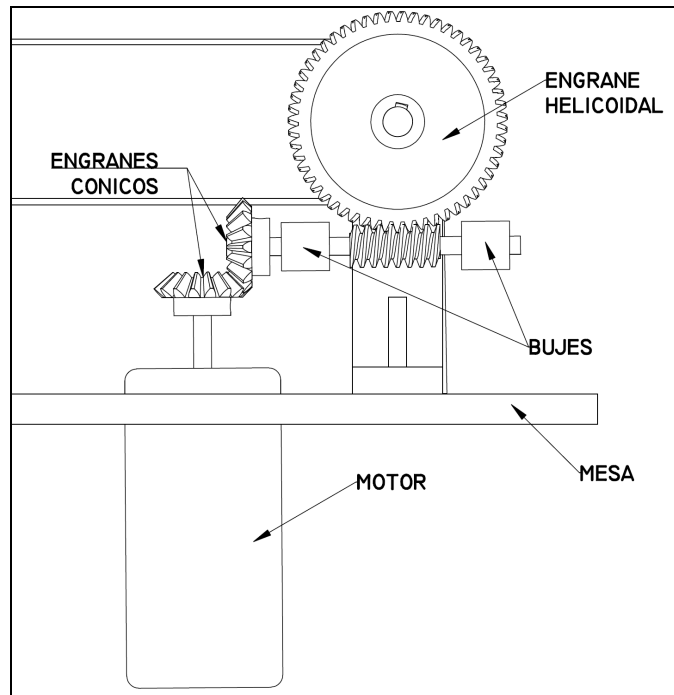


Figura 5.8 Lugar de colocación del motor y juego de engranes cónicos.

Para efectos de espacio, se optó por colocar el motor según la función principal de nada más en cambiar la dirección de la fuerza, desde el motor hasta el tornillo por esta razón ambos engranes tienen el mismo diámetro de paso. Según lo anterior tomamos lo siguiente para $d_p = d_g = 30\text{mm}$ considerando además un ángulo de presión $\phi = 20^\circ$. Numero de dientes por cada engrane 16. Según ecuación 5.32

$$\frac{d_g}{d_p} = \tan \alpha_g$$

$$\tan \alpha_g = \frac{d_g}{d_p} = \frac{30}{30} = 1$$

$$\alpha_g = \alpha_p = \tan^{-1} 1$$

$$\alpha_g = \alpha_p = 45^\circ$$

Ahora que tenemos los ángulos del piñón y engrane, calculamos el ancho de cara que deberán tener:

Según ecuación 5.30

$$L = \frac{r_p}{\text{sen}\alpha_p} = \frac{d_p}{2\text{sen}\alpha_p} = \frac{d_g}{2\text{sen}\alpha_g}$$

$$L = \frac{d_g}{2\text{sen}\alpha_g} = \frac{30}{2\text{sen}45^\circ}$$

$$\boxed{L = 21.21\text{mm}}$$

y de ecuación 5.31:

$$F = \frac{L}{3}$$

$$\boxed{F = 7.10\text{mm}}$$

Selección del motor:

El motor que se selecciono se hizo en base a la demanda de potencia requerida en la transmisión, como vimos anteriormente la transmisión sin fin nos exige una potencia nominal de 0.18 HP que es lo mismo decir 134.28 W.

Para esto recurrimos a un motor de corriente alterna con una frecuencia de 60Hz y una velocidad de 1100 rpm.

TYPE	Out power	Voltage	Current	Frequency	Speed	Measurement
	W	V	A	Hz	RPM	cm
HK63	90	110	0.90	50/60	900	48x20x26
	90	220	0.45	50/60	1000	48x20x26
HK63/67	150	110	1.00	50/60	1100	48x20x26
	200	220	0.50	50/60	1500	48x20x26
HK63/67	200	110	1.50	50/60	3000	48x20x26
	250	220	0.75	50/60	4000	48x20x26
HK67/71	180	220	0.90	50/60	7500	48x20x26
HK71	250	220	1.20	50/60	8000	50x20x26

Tabla 5.1 Datos técnicos del motor

La marca y modelo de motor es: SDM-HK63

Diseño del separador

Una vez que las piezas hayan sido identificadas (a través de los sensores) estas deberán ser clasificadas, tal elemento es el que se muestra en la figura 6.5 y su función principal radica en convertir el movimiento lineal del vástago del cilindro neumático, en movimiento angular en el separador (1). El ángulo de giro del separador se tomo con un valor de 50° , de esa forma la pieza será desviada de la banda, introduciéndose en la rampa según sea el caso.

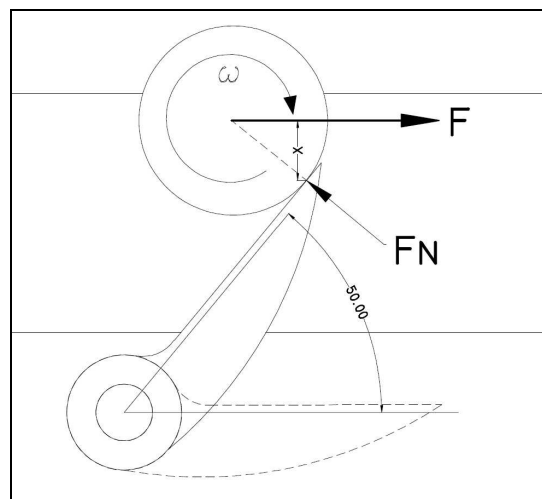


Figura 5.9 Separador o clasificador

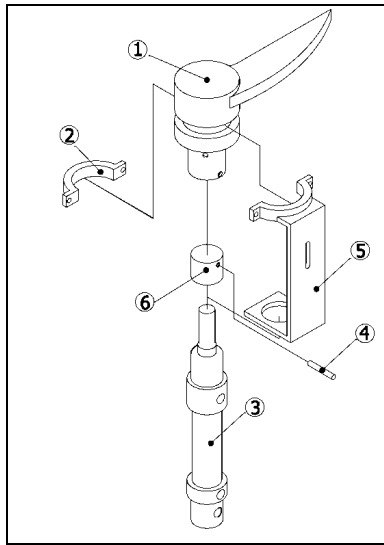


Figura 5.10 Elemento separador, mostrando cada parte que lo compone.

Esto precisamente ocurre debido a la inercia misma de la pieza la cual presenta una fuerza F que genera un torque $T = F * X$, alrededor del punto en donde pasa la fuerza normal F_N tal como se observa en la figura 6.4.

Como se menciono anteriormente, la función principal del mecanismo, es transformar el movimiento lineal, en movimiento angular y esto es logrado a través de una ranura en forma helicoidal que se da en la camisa del separador (1) Figura 5.11, cuando el cilindro de doble efecto (3), se extiende y logra su carrera de 10mm, este mueve a un capuchón (6) que tiene además enroscado un pasador (4) que se desliza a través de la hélice ó canal mencionado anteriormente, logrando así cambiar el movimiento de lineal a angular.

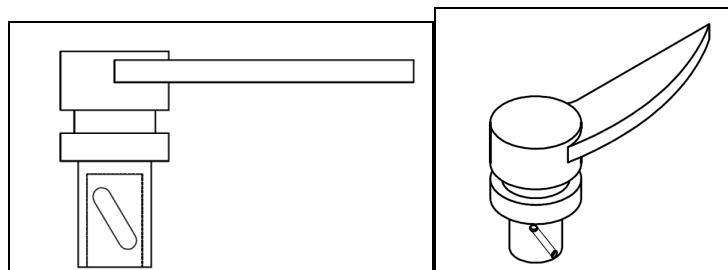


Figura 5.11 En esta figura podemos observar la ranura que permite cambiar el movimiento lineal del vástago, en movimiento angular.

El mecanismo (2) y (5) es una abrazadera, que permite que la camisa pueda girar así como también sostenerla, cabe mencionar que esta misma tiene un canal en la parte trasera, esto precisamente impide que el pasador gire alrededor del cilindro neumático, evitando así que alguna pieza arrastre todo el conjunto y se pierdan los 50° considerados.

Si tomamos en cuenta entonces, que el separador deberá girar 50°, y tenemos una carrera de 10mm, deberemos conocer el ángulo de hélice indicado tal que pueda generarse la rotación: La longitud de arco se considera como:

$$S = r\theta \quad (5.36)$$

Donde:

S : Longitud de arco

r : Radio de la camisa que contendrá el capucho y el pasador.

θ : Ángulo de 50° medidos en radianes, con un equivalente de $\frac{5\pi}{18} \text{ Rad}$

En la figura 6.7 se puede apreciar, la parte baja del separador (1), el cual se ha hecho un corte transversal para observar exactamente el radio que tendrá la ranura por donde irá colocado el pasador.

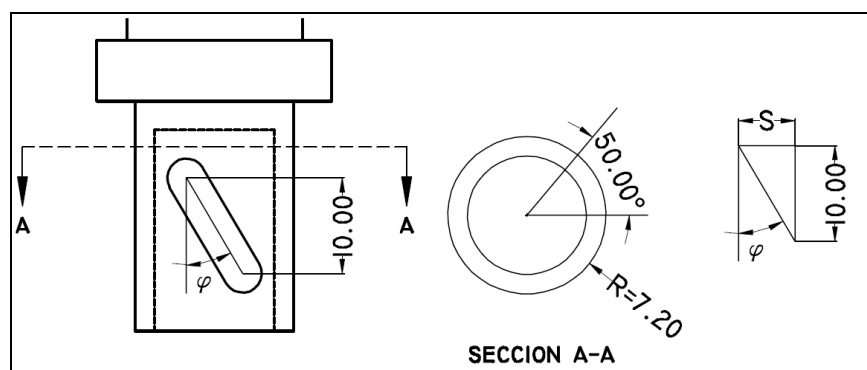


Figura 5.12 Diseño de la ranura helicoidal en la camisa del pasador.

Ahora bien, con la figura mostrada, observamos que en un giro de 50° y un radio de 7.20mm se genera una longitud de arco S , esta longitud de arco se utiliza como bien se observa para calcular el ángulo φ , que se encontraría así:

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{S}{10} \quad (5.37)$$

Tomando la ecuación 6.37 procedemos a determinar la longitud de arco S :

$$S = r\theta = (7.20)(5\pi / 18)$$

$$\boxed{S = 6.28mm}$$

Ahora utilizando la ecuación 5.37 determinamos φ .

$$\varphi = \tan^{-1} \frac{S}{10} = \tan^{-1} \frac{6.28}{10}$$

$$\boxed{\varphi = 32.14^\circ}$$

Generación del movimiento en la banda

El movimiento de la banda transportadora se debe principalmente como se menciona anteriormente, a la fuerza motriz empleada desde el motor pasando por el sistema de engranaje hasta, el rodillo impulsor.

A continuación se describe como se genera la transmisión de movimiento a la banda.

Anteriormente habíamos dicho que se pretendía tener una velocidad angular de 20rpm en el rodillo, y que este tenía un diámetro de 50mm, llegando a disminuir la velocidad hasta 5cm/s.

Pero todo esto funciona de la siguiente manera:

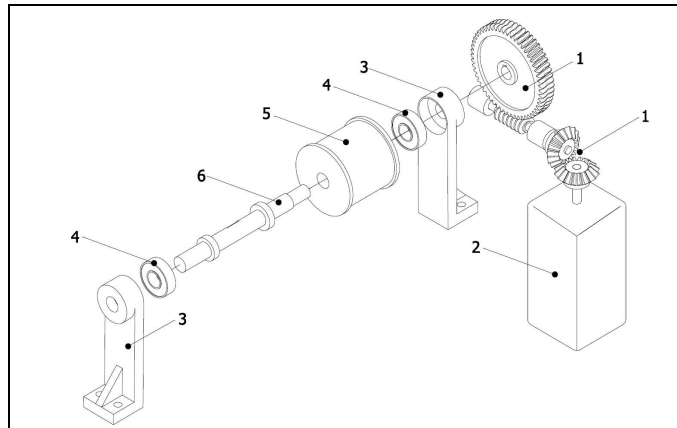


Figura 5.13 Esquema que muestra las partes por las cuales está conformada la transmisión desde el motor, hasta el rodillo impulsor.

Según el esquema mostrado anteriormente, el motor (2) genera el movimiento que se reduce en el juego de engranes (1) que mueven juntamente la flecha (6), la cual tiene una ranura que permite colocar una cuña que transmite el par generado de la transmisión directamente al rodillo (5), de esta forma los cojinetes (4) simplemente se encuentran dentro de los soportes (3) estáticamente, dejando que gire libremente el eje.

Luego de esto se diseña de una forma diferente el otro rodillo que soportara la banda, ya que en este caso no se requiere que la flecha gire, más bien que se mantenga estática y el rodillo gire libremente con respecto a este mismo.

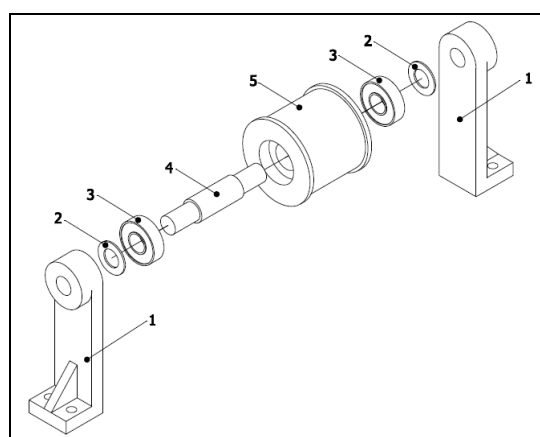


Figura 5.14 Se presenta un despiece del rodillo loco, indicando que nada mas gira libremente con respecto al eje (4).

En este caso, se optó por dejar estático el eje (4), el cual se encuentra firme en los soportes (1), los cojinetes (3) se encuentran acoplados en la ranura del rodillo (5), según se muestra en la figura permitiendo de esta manera el giro libre del rodillo con respecto a la flecha. Las arandelas (2) impiden que el rodillo roce directamente con los soportes.

Uno de los inconvenientes de la banda sería la deflexión que tendría esta misma al soportar el peso de las piezas, y un método que se utilizó para evitar esta deflexión, es precisamente colocar una placa metálica (1) debajo de ella, el cual permitiría deslizar libremente la banda y soportaría el peso de la pieza.

Así entonces, tal como se muestra la figura 6.10 observamos entonces, que la banda evitara la deflexión por medio de la placa (1) que se encuentra entre el rodillo impulsor (3) y el rodillo loco (2).

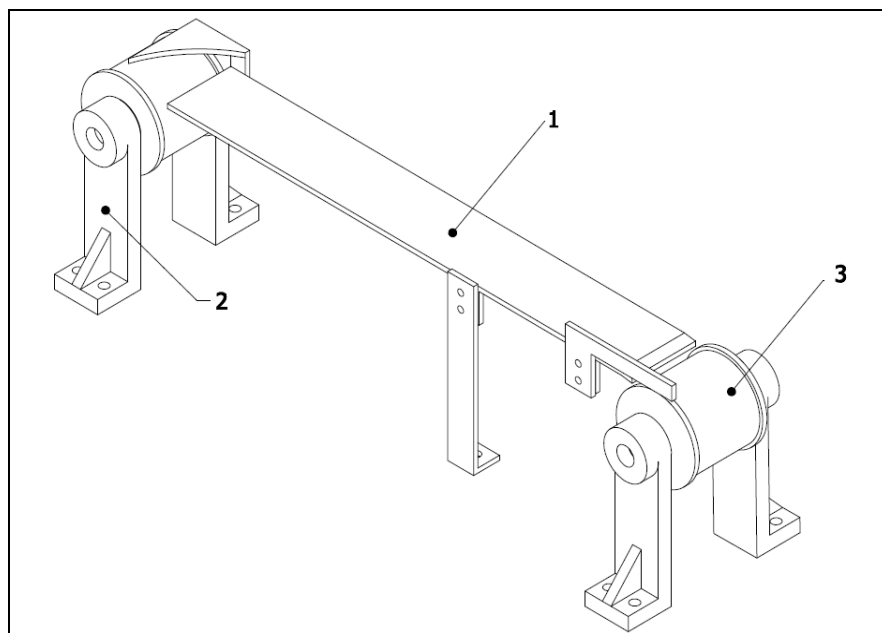


Figura 5.15 Placa que impide la deflexión producto del peso de las piezas en la banda transportadora.

Diseño del depósito

Las piezas antes de ser clasificadas, se encuentran alojadas en un depósito contenedor, estas son expulsadas por un cilindro de simple efecto y ubicadas en la banda.

En esta etapa todas las piezas son contenidas en un vaso plástico (1) y estas a su vez, al estar apiladas generan una presión sobre un sensor (6) que genera una señal a la unidad lógica, indicando presencia de elementos listos para ser desalojados.

El cilindro neumático (4) tiene roscada una pieza de forma cóncava (5), que se adecua a la forma de la pieza a ser desalojada, el cilindro además se encuentra soportado por dos patillas (3) tal como se muestra en la figura 5.16 una vez que las piezas son expulsadas, el ciclo se repite hasta que ninguna pieza pueda oprimir el interruptor que indique presencia de elementos.

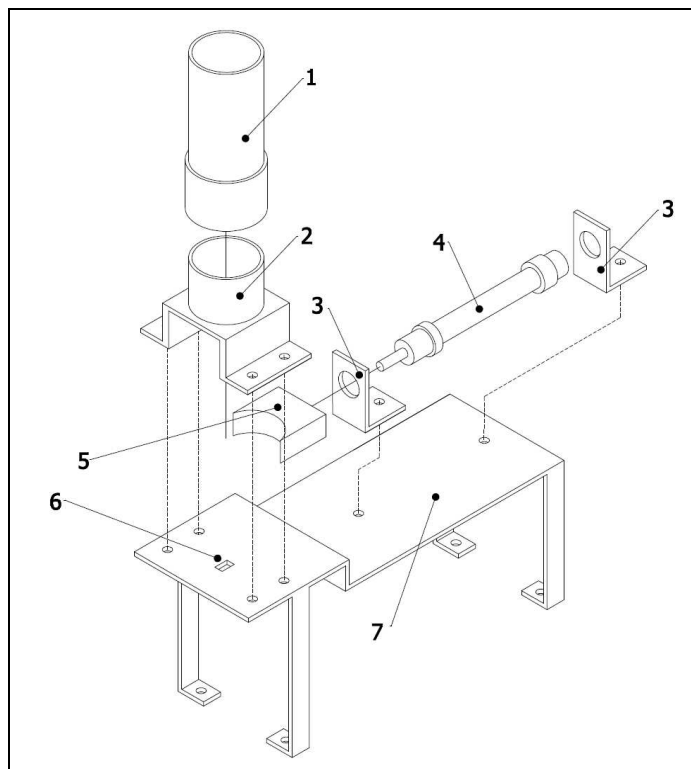


Figura 5.16 Representación de elementos que componen todo el mecanismo de alimentación de piezas hacia la banda transportadora.

CAPITULO 6

PROGRAMACIÓN Y CONTROL

6.1 Selección del PLC

La selección de un PLC como sistema de control depende de las necesidades del proceso productivo que tiene que ser automatizado, considerando como más importantes los aspectos que a continuación se enlistan:

- **Espacio reducido** Cuando el lugar donde se tiene que instalar el sistema de control dentro de la planta es muy pequeño el PLC es la mejor alternativa, ya que aun con todos sus aditamentos necesarios llegan a ocupar un mínimo de espacio sin que esto vaya en detrimento de la productividad y la seguridad del personal y las instalaciones.
- **Procesos de producción periódicamente cambiantes**
Existen industrias como la automotriz que año con año se ve en la necesidad de cambiar el modelo del vehículo que sale de sus plantas, razón por la cual se tiene que modificar tanto la secuencia de armado como el reajustar los valores de tolerancia de las partes con las que se arma el vehículo. Siendo el arma principal de estos cambios, las modificaciones que sufren las instrucciones del programa que controla la lógica de operación del PLC.
- **Procesos secuenciales**
Es bien conocido que cuando una actividad que se repite una gran cantidad de veces durante cierto intervalo de tiempo, se convierte en una actividad monótona para el hombre, produciendo en determinado momento fatiga del tipo emocional, provocando la desconcentración y la inducción involuntaria de errores que pueden ser fatales, tanto para la integridad del hombre como para las instalaciones. Con un PLC se puede evitar lo anterior con tan solo implementar secuencias de control, que aunque se repitan muchas veces durante el día, no se perderá la precisión con la que tienen que hacerse.

- **Actuadores distintos en un mismo proceso industrial**

Con un solo PLC se cuenta con la posibilidad de manipular actuadores de diferente naturaleza entre sí, y todavía más, con un mismo PLC se pueden dirigir diferentes líneas de producción en las que cada una tiene asignada a sus propios actuadores, esto último depende de la cantidad de salidas y en general del tamaño en cuanto a su capacidad para alojar el programa de usuario.

- **Verificación de las distintas partes del proceso de forma centralizada**

Existe una gran cantidad de industrias en que la planta de producción se encuentra alejada de la sala de control, o también por ejemplo, como es en las plantas petroleras, se tiene la necesidad de verificar la operación a distancia de todas las refinerías. Con un PLC se tiene de manera natural el diseño de redes de comunicación, para que se canalice la información a una central desde la cual se pueda observar a distancia como se encuentra operando el sistema de control automático, y se visualice por medio de monitores la representación gráfica tanto de los sensores como de los actuadores.

Para nuestro trabajo los criterios de selección son:

- Aplicación didáctica
- Número de entradas (7 entradas: 3 sensores, 3 pulsadores y 1 interruptor)
- Número de salidas (7 salidas: 6 bobinas de electroválvulas y 1 motor)
- Módulos futuros a construirse, por lo que se considera un sobredimensionamiento de entradas y salida
- Facilidad para familiarizarse con el entorno del software
- Costos

Todo esto nos llevo a seleccionar el *CPU 224 AC/DC/RELAY* de Siemens.

6.2 Programación y control

6.2.1 Lenguaje en Escalera

Para empezar a programar un PLC necesitamos conocer bajo qué ambiente de

programación se elaborara. Normalmente ese ambiente de programación es gráfico, y se le conoce con el nombre de *Lenguaje en Escalera*, pero su título oficial es el de *Diagrama de Contactos*.

Cabe aclarar que existen diversos lenguajes de programación para los PLC, pero el llamado Lenguaje en Escalera (Figura 6.1) es el más común y prácticamente todos los fabricantes de PLC lo incorporan como lenguaje básico de programación.

El Lenguaje en Escalera es el mismo para todos los modelos existentes de PLC, lo que cambia de fabricante a fabricante o de modelo a modelo es el microcontrolador que emplea, y por esta razón lo que difiere entre los PLC es la forma en que el software interpreta los símbolos de los contactos en Lenguaje en Escalera. El software de programación es el encargado de generar el código en ensamblador del microcontrolador que posee el PLC. Para cada PLC el código que se crea es diferente ya que por naturaleza propia los códigos de los microcontroladores son diferentes, aunque el Lenguaje en Escalera sea el mismo para todos los PLC.

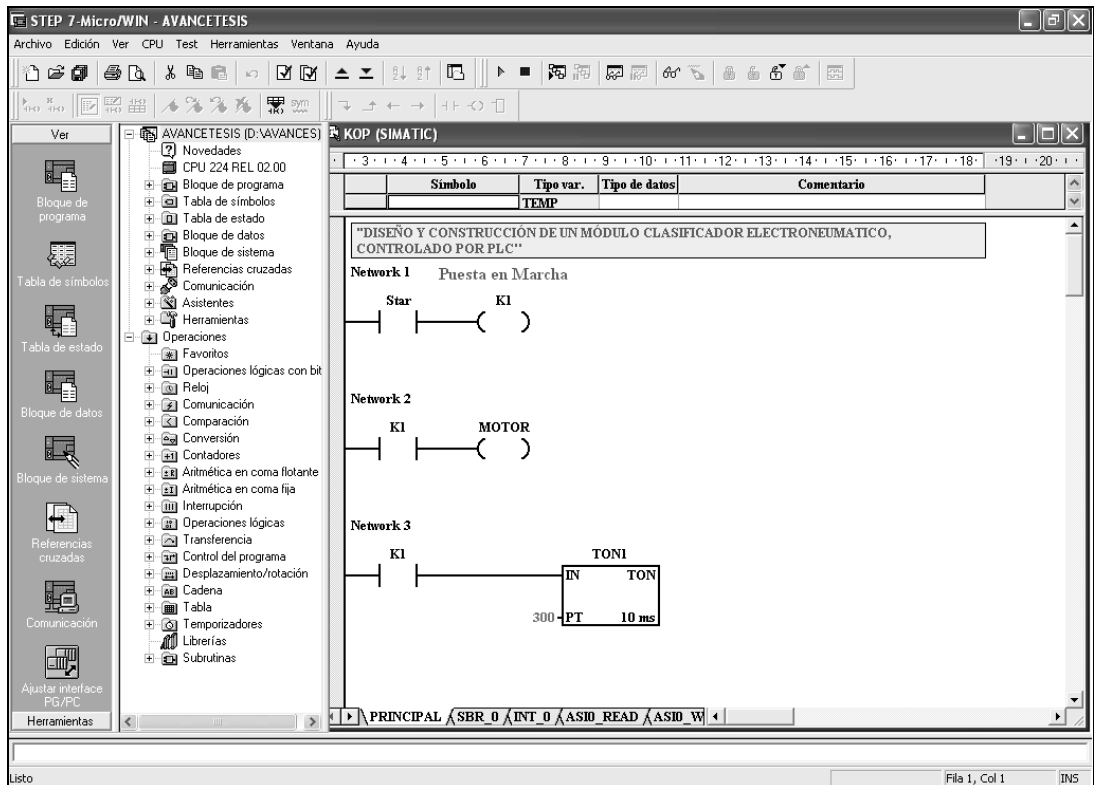


Figura 6. 1 Lenguaje en Escalera del PLC

En esta oportunidad describiremos ampliamente la utilización del software de programación de nuestro PLC, y aunque ya se menciono en líneas anteriores que el código que se genera es diferente entre varias marcas de PLC el lenguaje en escalera es el mismo para todos, y al final de cuentas eso es lo que nos interesa para programar un PLC, por lo que sí aprendemos a programar uno de la marca Siemens, de manera implícita estaremos

obteniendo el mismo conocimiento para programar uno de otra marca (por ejemplo un Allen Bradley).

6.3 Introducción a STEP7Micro/WIN

6.3.1 Iniciar STEP7 Micro/WIN

Haga clic en el icono de STEP 7-Micro/WIN para abrir un nuevo proyecto.

La figura 6.2 muestra un nuevo proyecto. Aprecie la barra de navegación. Puede utilizar los iconos de la barra de navegación para abrir los elementos de proyecto de STEP 7-Micro/WIN.

En la barra de navegación, haga clic en el icono *Comunicación* para abrir el cuadro de diálogo correspondiente. Utilice este cuadro de diálogo para configurar la comunicación de STEP 7-Micro/WIN.

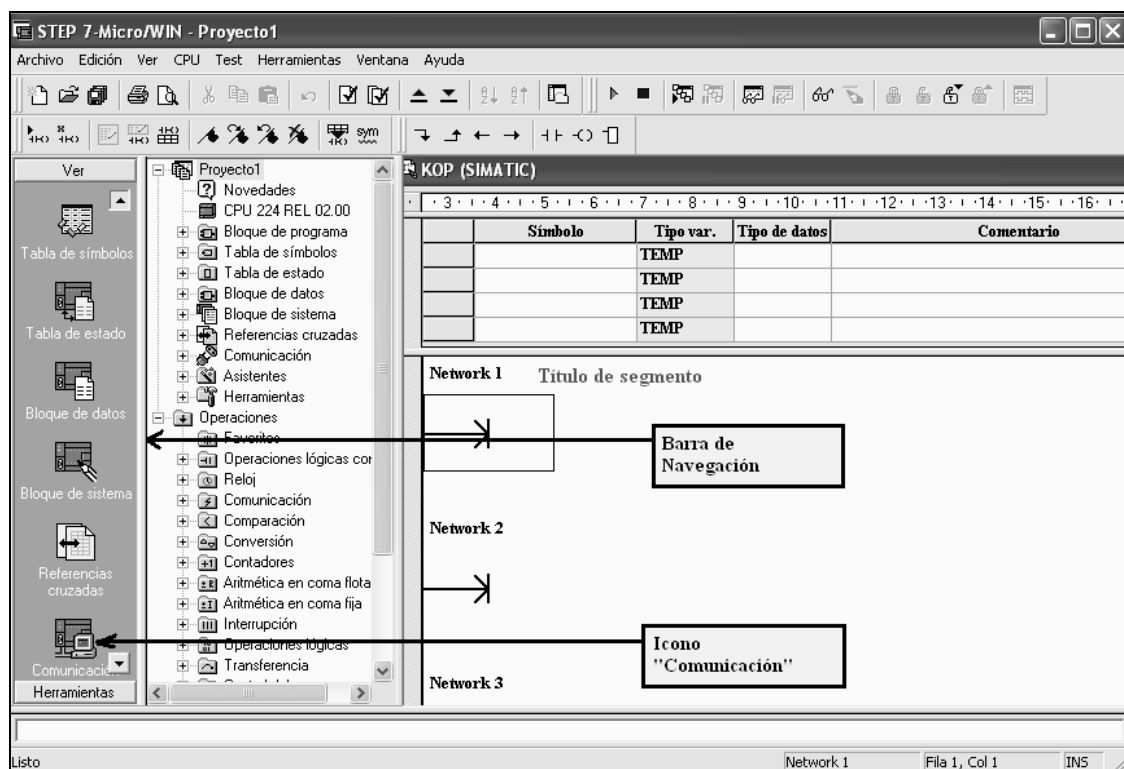


Figura 6.2 Nuevo proyecto de STEP 7Micro/WIN

Verificar los parámetros de comunicación de STEP 7-Micro/WIN.

En el proyecto de ejemplo se utilizan los ajustes estándar de STEP 7-Micro/WIN y del cable multimaestro RS-232/PPI. Para verificar los ajustes:

- Vigile que la dirección del cable PC/PPI esté ajustada a 0 en el cuadro de diálogo Comunicación.
- Vigile que la interfaz del parámetro de red esté configurada para el cable PC/PPI (COM1).
- Vigile que la velocidad de transferencia esté ajustada a 9,6 kbit/s.

6.3.2 Establecer la comunicación con el S7-200

- Utilice el cuadro de diálogo *Comunicación* para establecer la comunicación con el S7200:
- En el cuadro de diálogo *Comunicación*, haga doble clic en el icono *Actualizar*.
- STEP 7-Micro/WIN buscará el S7-200 y visualizará un icono CPU correspondiente a la CPU S7-200 conectada.

- Seleccione el S7-200 y haga clic en Aceptar. Si STEP 7-Micro/WIN no encuentra el S7-200, compruebe los parámetros de comunicación y repita los pasos descritos arriba. Tras haber establecido la comunicación con el S7-200 podrá crear el programa de ejemplo y cargarlo.

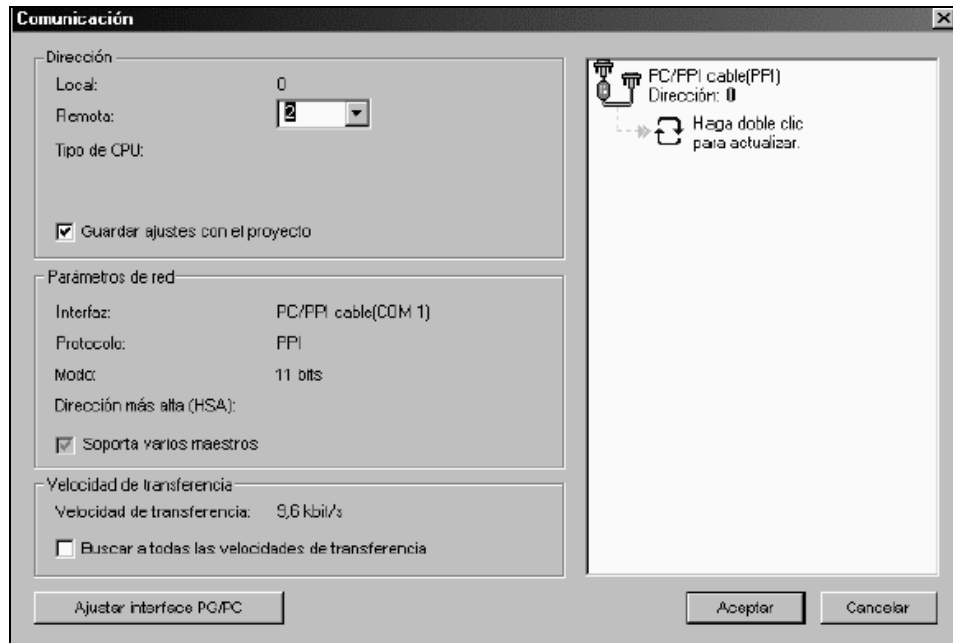


Figura 6.3 Verificar los parámetros de comunicación

Crear un programa

Al crear este programa de ejemplo podrá utilizar básicamente el STEP 7-Micro/WIN. Este programa utiliza seis operaciones en tres segmentos para crear un temporizador muy sencillo que arranca y se inicializa a sí mismo.

En el presente ejemplo, utilice el editor KOP (Esquema de contactos) para introducir las operaciones del programa. La figura 6.4 muestra el programa completo tanto en KOP como en AWL (Lista de instrucciones). Los comentarios de segmento en el programa AWL explican la lógica de cada segmento. El cronograma muestra el funcionamiento del programa.

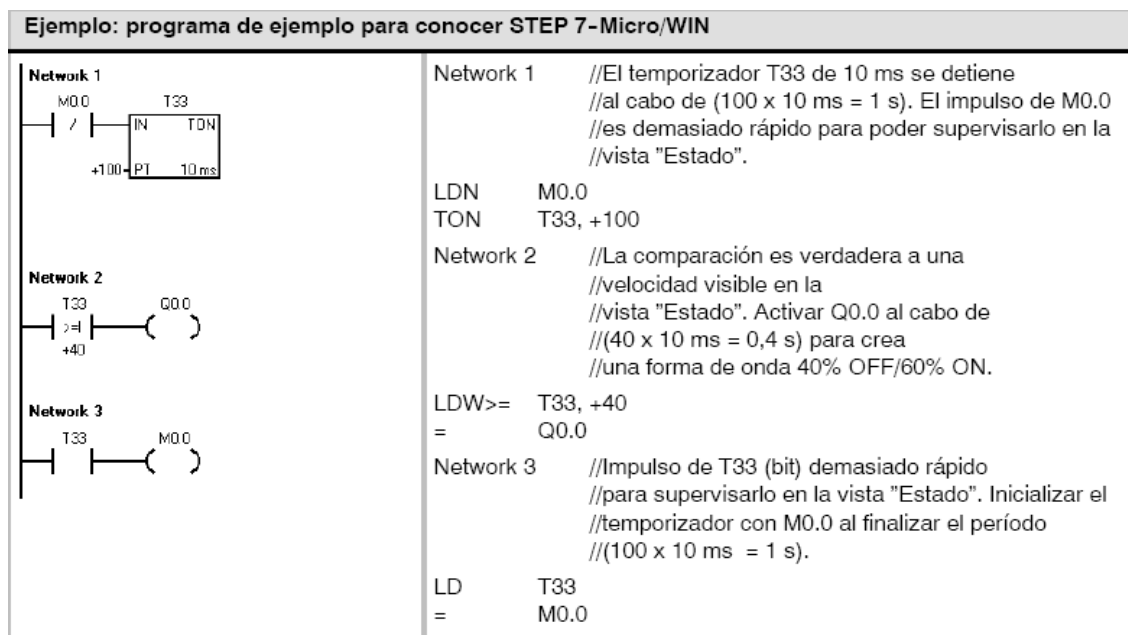


Figura 6.4 KOP esquema de contactos, AWL lista de instrucciones

Abrir el editor de programas

Haga clic en el icono *Bloque de programa* para abrir el editor de programas figura 6.5. Aprepie el árbol de operaciones y el editor de programas. El árbol de operaciones se utiliza para insertar las operaciones KOP en los segmentos del editor de programas. Las operaciones se arrastran desde el árbol de operaciones y se sueltan en los respectivos segmentos.

Los botones de la barra de herramientas proveen un acceso directo a los comandos de menú correspondientes. Tras haber introducido y guardado el programa podrá cargarlo en el S7-200.

Introducir el segmento 1: arrancar el temporizador

Si el estado de señal de M0.0 es 0, este contacto se activará, haciendo que la corriente circule para arrancar el temporizador. Para introducir el contacto de M0.0:

- Haga doble clic en el icono Operaciones lógicas con bits, o bien haga clic en el signo más (+) para visualizar estas operaciones.
- Seleccione el contacto normalmente cerrado.
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre el contacto hasta el primer segmento.

- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima del contacto e introduzca la dirección siguiente: M0.0
- Pulse la tecla INTRO para confirmar la dirección del contacto.

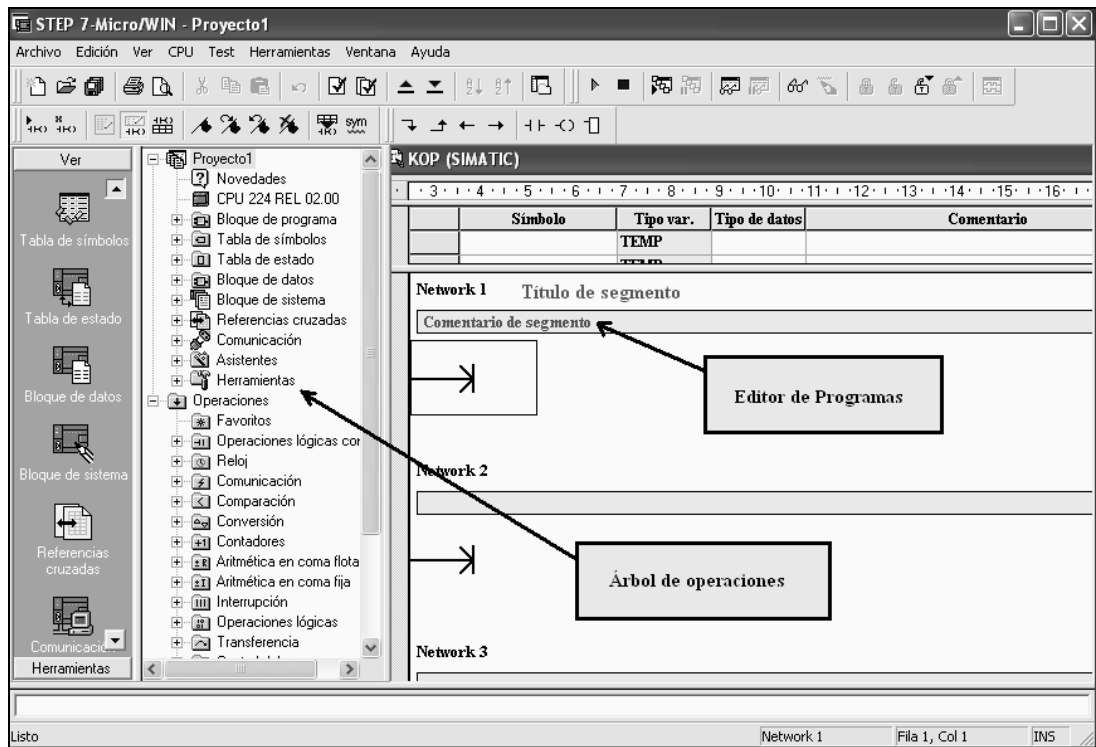


Figura 6.5 Bloque de Programas

Para introducir la operación del temporizador T33:

- Haga doble clic en el icono *Temporizadores* para visualizar las operaciones de temporización.
- Seleccione el TON (temporizador como retardo a la conexión).
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre el temporizador hasta el primer segmento.
- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima del cuadro del temporizador e introduzca el siguiente número de temporizador: T33
- Pulse la tecla INTRO para confirmar el número de temporizador y desplazar el cursor hasta el parámetro correspondiente al valor de preselección (PT).
- Introduzca el siguiente valor de preselección: 100

- Pulse la tecla INTRO para confirmar el valor.

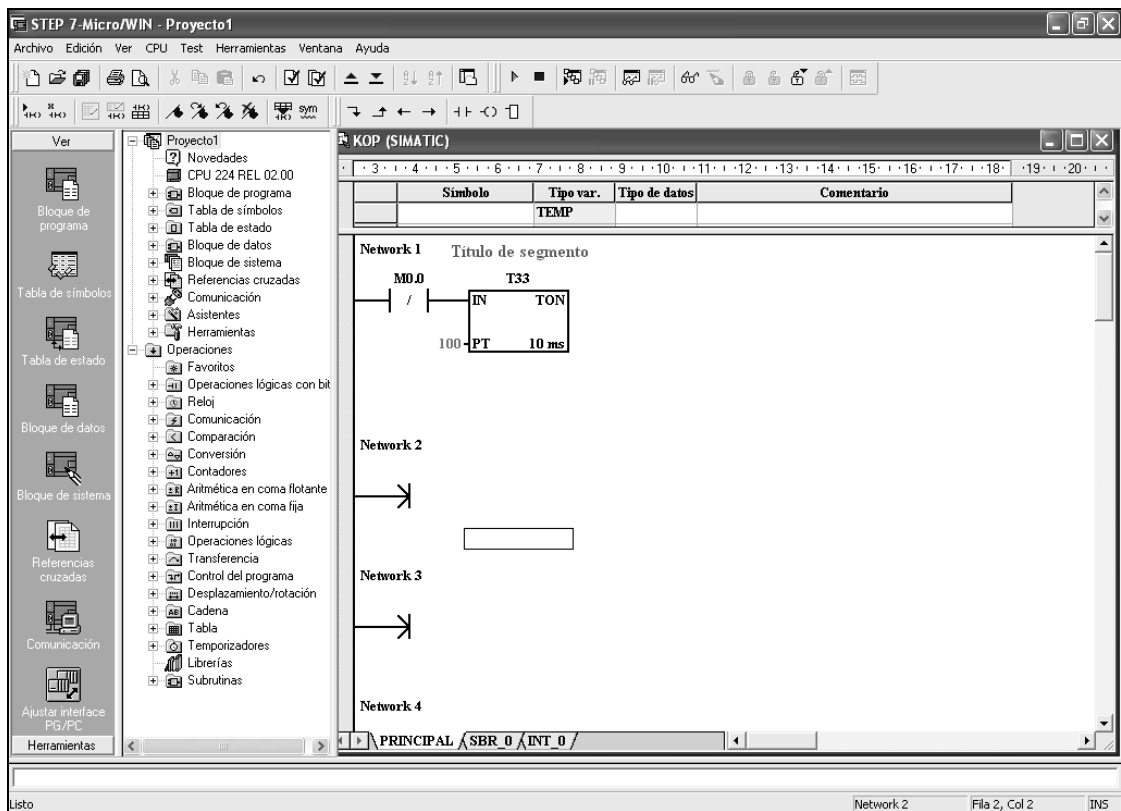


Figura 6.6 Network 1

Introducir el segmento 2: activar la salida

Si el valor del temporizador T33 es mayor o igual a 40 (40 multiplicado por 10 milisegundos, es decir 0,4 segundos), el contacto permitirá que la corriente circule para activar la salida Q0.0 del S7-200.

- Haga doble clic en el icono *Comparación* para visualizar las operaciones de comparación. Seleccione la operación $\geq I$ (Mayor o igual a entero).
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre la operación de comparación hasta el segundo segmento.
- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima del contacto e introduzca la dirección del temporizador: T33
- Pulse la tecla INTRO para confirmar el número de temporizador y desplazar el cursor hasta el valor que se debe comparar con el temporizador.
- Introduzca el siguiente valor para compararlo con el temporizador:40

- Pulse la tecla INTRO para confirmar el valor.

Para introducir la operación con objeto de activar la salida Q0.0:

- Haga doble clic en el icono "Operaciones lógicas con bits" y seleccione la bobina de salida.
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre la bobina hasta el segundo segmento.
- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima de la bobina e introduzca la dirección siguiente: Q0.0
- Pulse la tecla INTRO para confirmar la dirección de la bobina.

Introducir el segmento3: inicializar el temporizador

- Cuando el temporizador alcanza el valor de preselección (100) y habilita el bit del temporizador, se activa el contacto del T33. La corriente que circula desde este contacto activa la marca M0.0.
- Puesto que el temporizador ha sido activado mediante un contacto normalmente cerrado (correspondiente a M0.0), si el estado de señal de M0.0 cambia de 0 (OFF) a 1 (ON), se inicializará el temporizador.

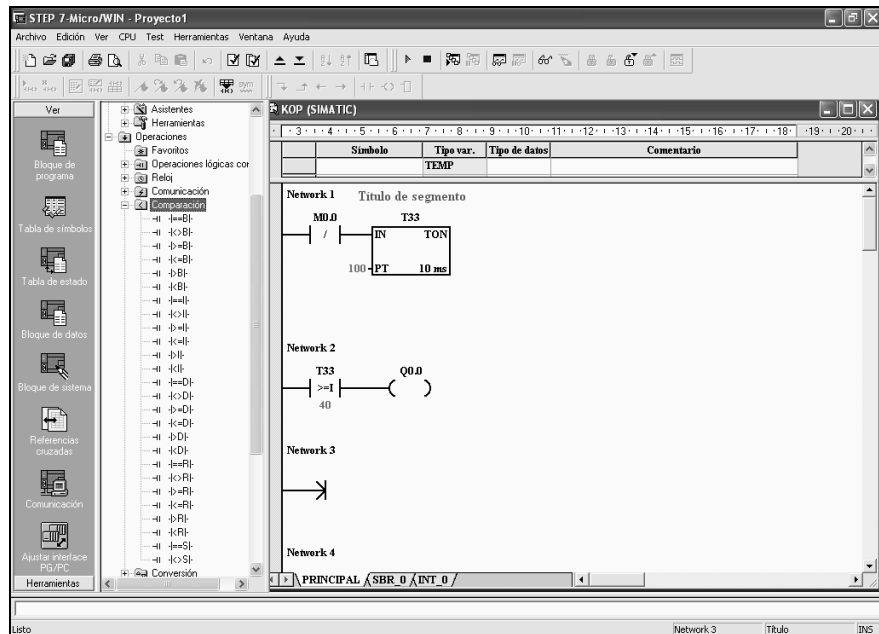


Figura 6.7 Network 2

Para introducir el contacto del bit del temporizador de T33:

- Haga doble clic en el icono *Operaciones lógicas con bits* y seleccione el contacto normalmente abierto.
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre el contacto hasta el tercer segmento.
- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima del contacto e introduzca la dirección del bit del temporizador: T33
- Pulse la tecla INTRO para confirmar la dirección del contacto.

Para introducir la bobina con objeto de activar M0.0:

- Haga doble clic en el icono *Operaciones lógicas con bits* y seleccione la bobina de salida.
- Mantenga oprimido el botón izquierdo del ratón y arrastre la bobina hasta el tercer segmento.
- Haga clic en los signos de interrogación ??? que aparecen por encima de la bobina e introduzca la dirección siguiente: M0.0
- Pulse la tecla INTRO para confirmar la dirección de la bobina.

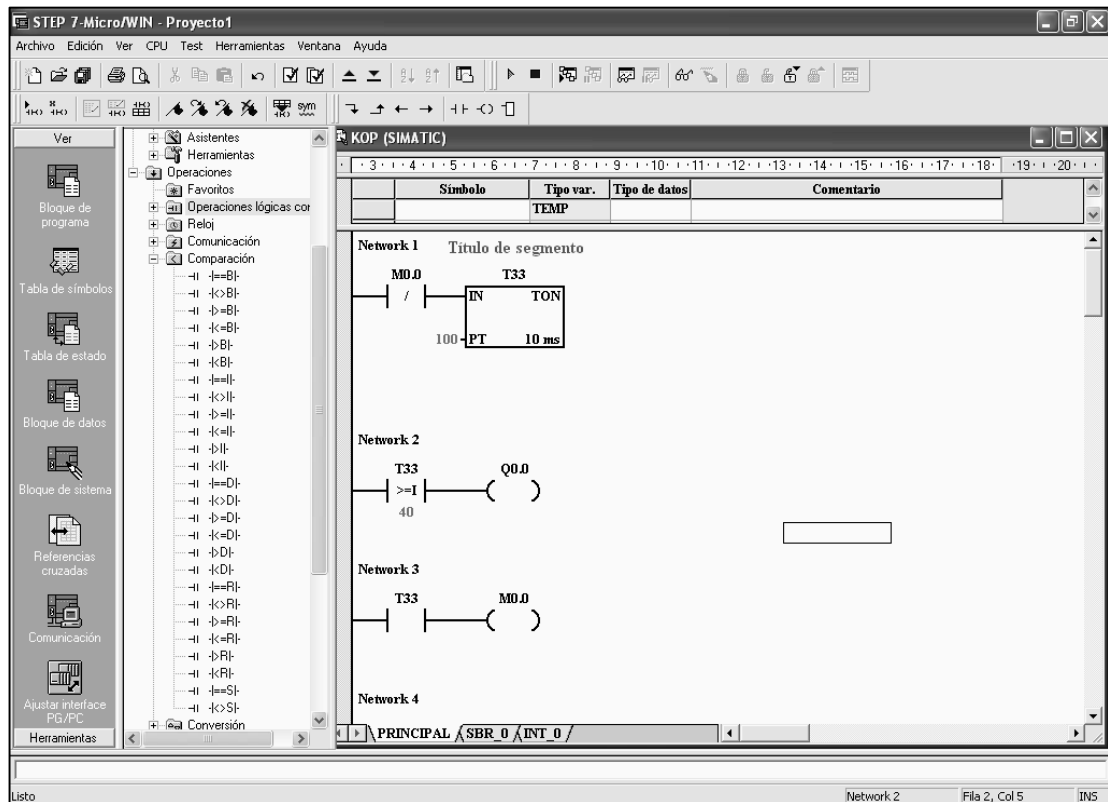


Figura 6.8 Network 1, Network 2 y Network 3

6.4 Programación

Después de haber conocido el entorno de Step 7 Micro/WIN, presentamos las partes del diagrama electroneumático que desarrolla las funciones de clasificación de piezas, este diagrama fue elaborado y corrido en FluidSim, Sin mostrar errores de Lógica, seguidamente se presentara el diagrama de escalera o de contactos KOP, equivalente al diagrama electroneumático, que es ya en si la programación del PLC.

Cabe destacar que si elaboramos el diagrama KOP, podemos obtener la misma programación en el lenguaje FUP y en el lenguaje AWL.

KOP es el lenguaje de *esquema de contactos* y su abreviatura proviene del alemán Kontakts Plan.

FUP es el lenguaje de *diagrama de funciones* y su abreviatura proviene del alemán Funktions Plan.

AWL es el lenguaje de *lista de instrucciones* y abreviatura proviene del alemán Anweisungsliste.

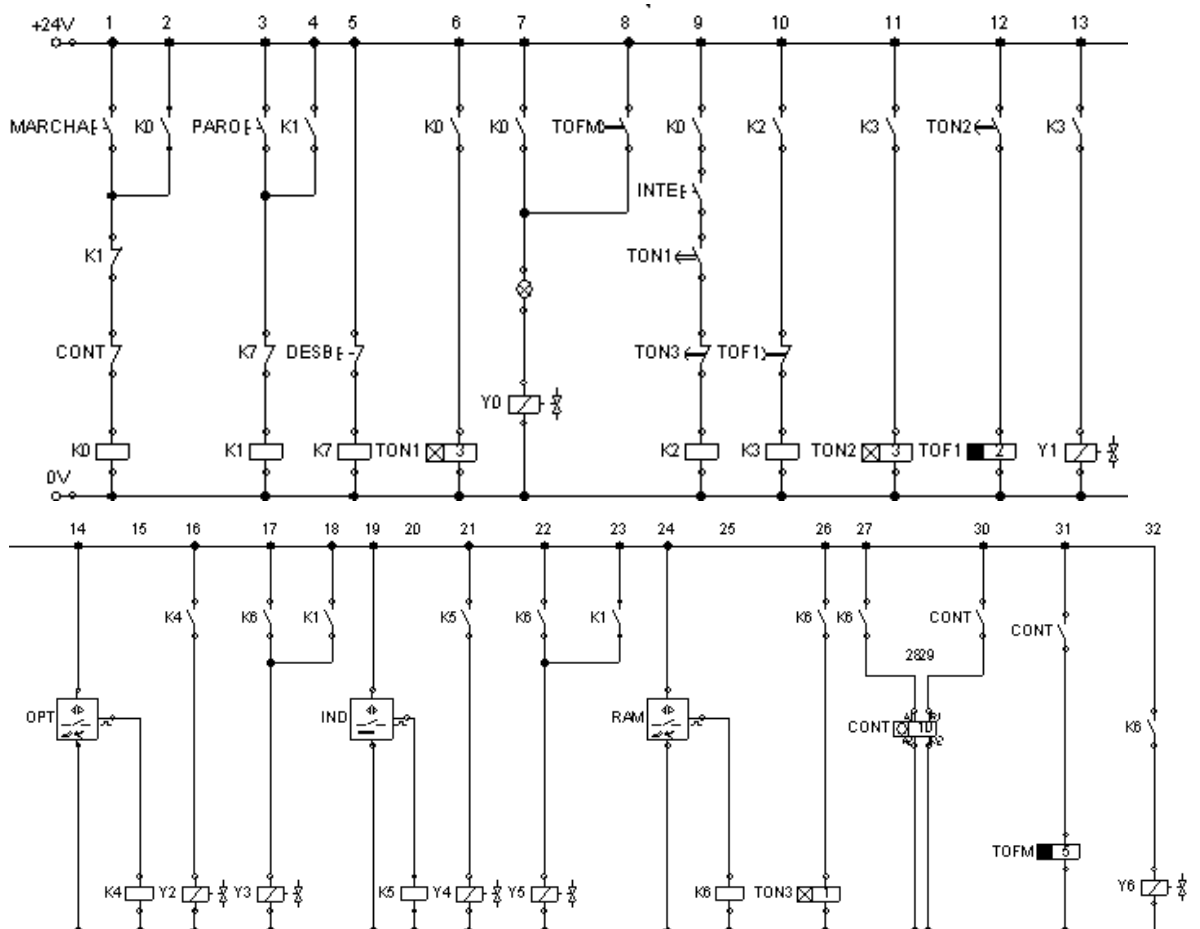


Figura 6.9 Circuito electropneumático.

Al presionar una vez el botón o pulsador de color verde (I1.1) iniciamos el ciclo, en primer lugar arrancará el motor (Q0.0) y posteriormente después de 3 segundos (T34) de haber arrancado el motor, se comenzará a colocar piezas en la banda transportadora por medio de un cilindro neumático de simple efecto (Q0.1).

Si la pieza es la de mayor tamaño será sensada por el sensor fotoeléctrico de una sola unidad (I1.0), cuya señal será tratada por el programa diseñado permitiendo así, que el vástago del segundo cilindro de doble efecto se expanda (recibe señal la bobina Q0.2). Al ser clasificada la pieza, esta pasara por una rampla que contiene un sensor fotoeléctrico de dos unidades emisor-receptor (I0.6) y al ser sensada la pieza, se envía una señal que es tratada por el diseño del programa, de modo que obtenemos una señal de salida, que permite que el cilindro de simple efecto se retraiga (Q0.6) y que también se retraiga el vástago del segundo cilindro de doble efecto (Q0.3), este mismo sensor realiza otras dos funciones:

- Envío de señal para contaje de piezas, por medio de un contador interno al PLC ubicado en el programa diseñado.
- Detiene el envío de piezas provisionalmente cuando la rampa esta llena, al quitar la pieza que obstruye continúa el proceso.

Si la pieza es ferrosa será sensada por el sensor inductivo (I0.5), cuya señal será tratada por el programa diseñado permitiendo así, que el vástago del tercer cilindro de doble efecto se expanda (recibe señal la bobina Q0.4). Al ser clasificada la pieza, esta pasara también por la rampla que contiene un sensor fotoeléctrico de dos unidades emisor-receptor (I0.6) y al ser sensada la pieza, se envía una señal que es tratada por el diseño del programa nuevamente, de modo que obtenemos una señal de salida, que permite que el cilindro de simple efecto se retraiga (Q0.6) y que también se retraiga el vástago del tercer cilindro de doble efecto (Q0.5), repitiéndose las funciones del sensor emisor-receptor descritas anteriormente.

Si la pieza es pequeña y no ferroso, no será detectada por ningún sensor, esta solo será transportada hasta ser clasificada en la última rampla pero si será detectada por el sensor emisor receptor de modo que se permita por medio del sensado la retracción del cilindro de simple efecto y las funciones de contaje y bloqueo momentáneo (en caso de que se llene una de las ramplas).

Si se presenta alguna situación inesperada se puede parar el proceso pulsando el botón rojo (I1.2) quien permite que todos los vástagos de los cilindros se retraigan. Por lo no se colocan piezas en la banda transportadora. Cabe mencionar que el motor continúa en marcha.

Para desbloquear el paro será necesario pulsar el botón amarillo (I1.3) y bastara con volver a pulsar el botón verde para iniciar un nuevo ciclo.

Todo lo anterior se podrá realizar mientras el interruptor (I1.4) active por el peso de las piezas.

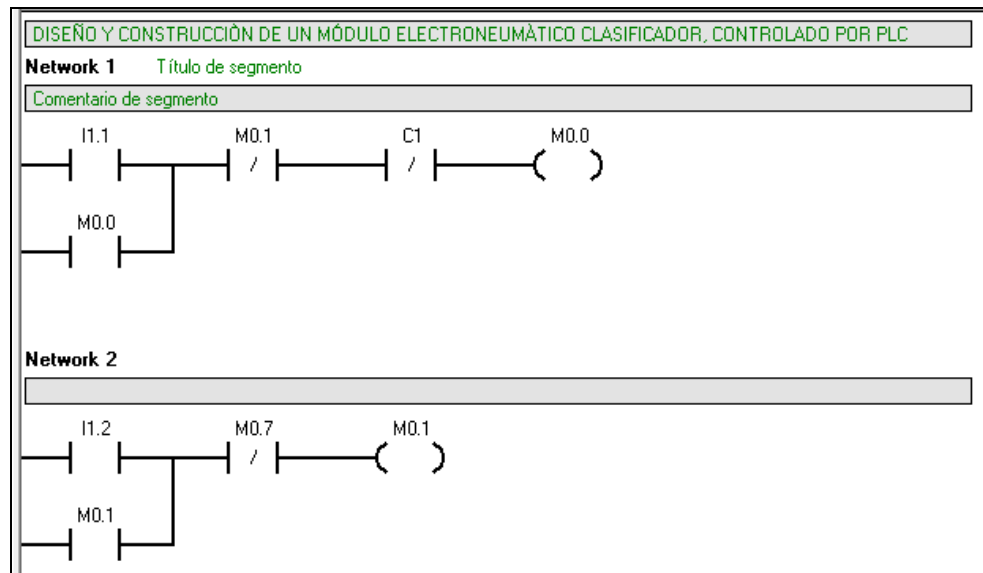


Figura 6.10 Network 1 inicio del ciclo (pulsador verde), Network 2 paro.

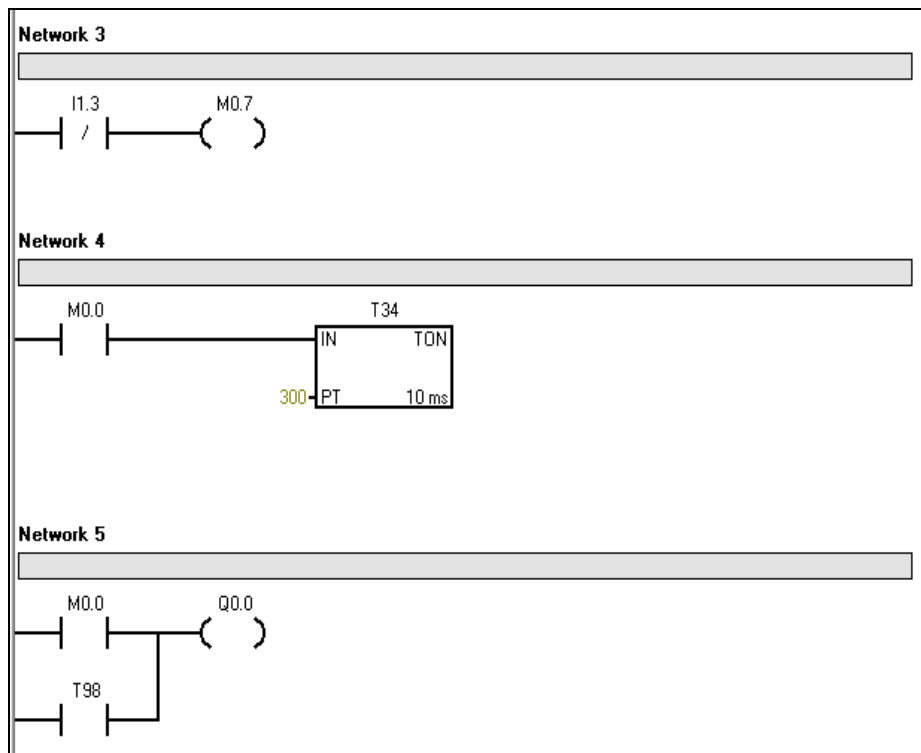


Figura 6.11 Network 3 Desbloqueo; Network 2 temporización para que después de 3 segundos se depositen las piezas, la velocidad de la banda se estabiliza; Network 5 motor en marcha.

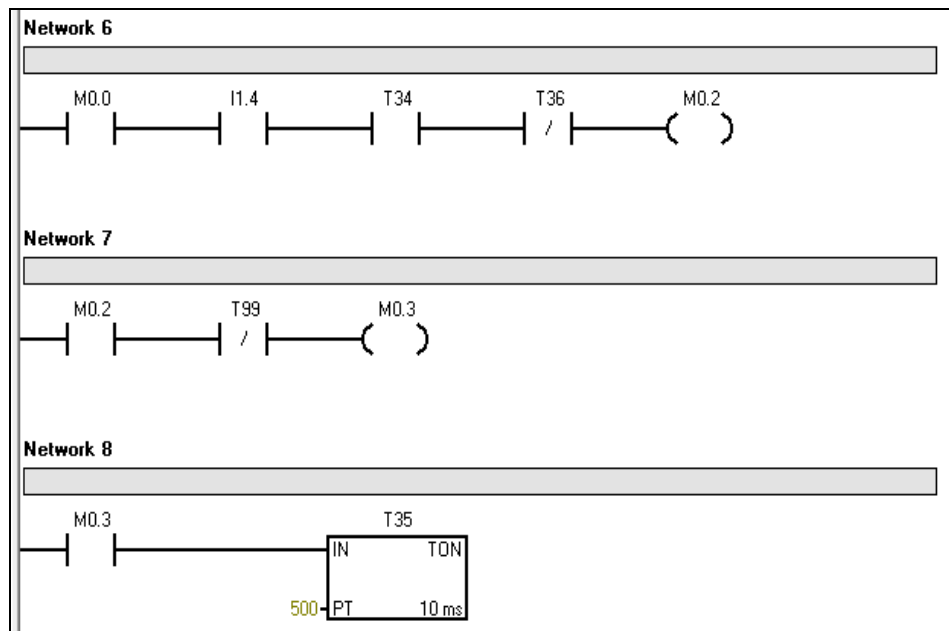


Figura 6.12 Network 6, 7, 8 arreglo para el envío de piezas a la banda transportadora cada 5 segundos.

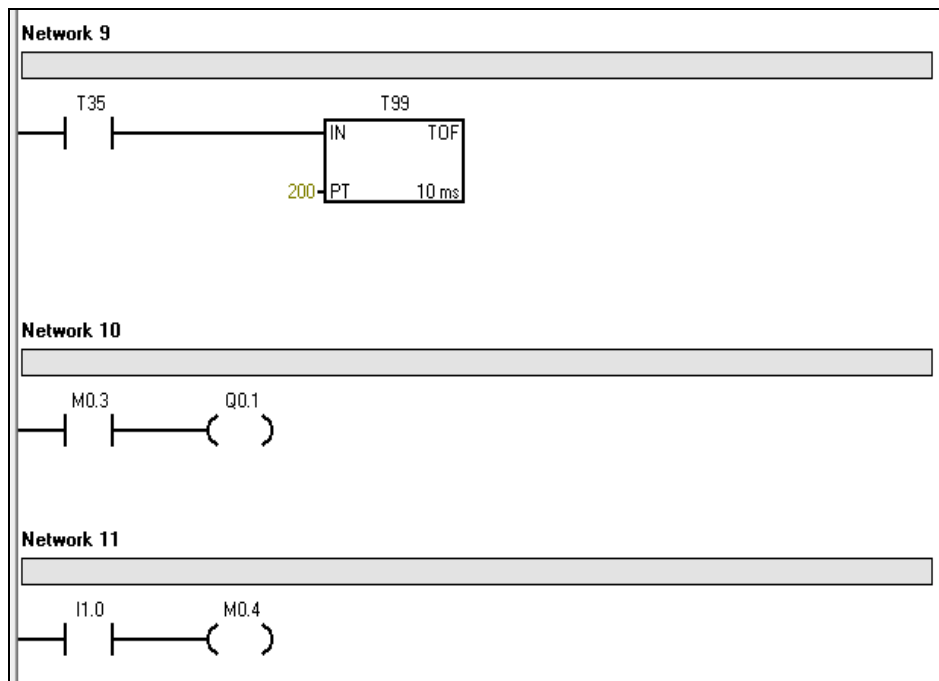


Figura 6.13 Network 9 temporizador con retardo a la desconexión; Network 10 bobina del cilindro de simple efecto al recibir señal el vástago sale; Network 11 sensor fotoeléctrico de una unidad.

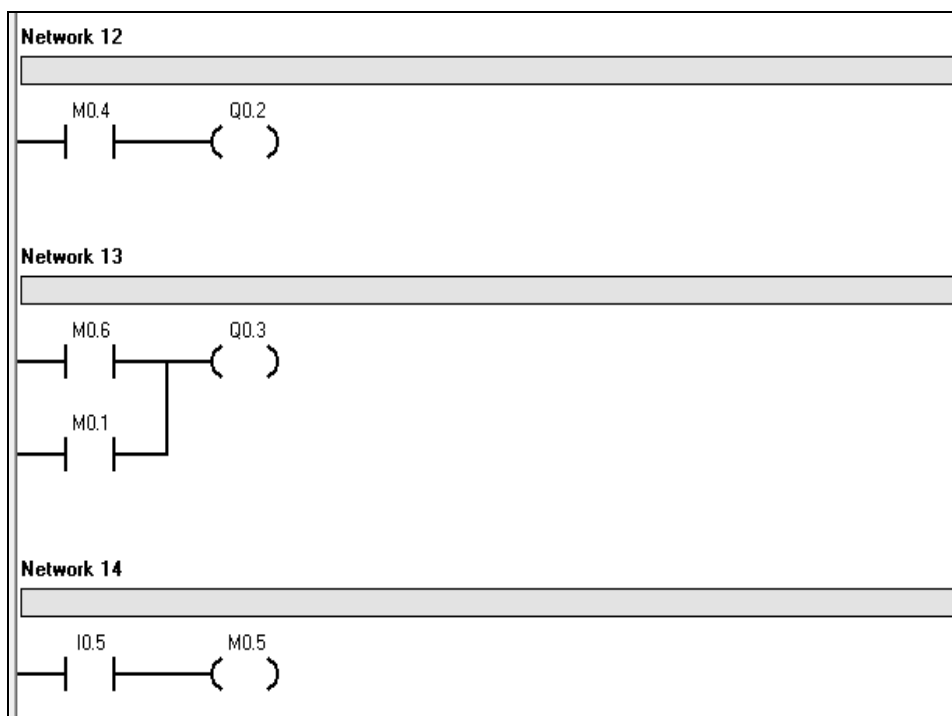


Figura 6.14 Network 12 bobina del cilindro2 de doble efecto al recibir señal el vástago sale; Network 13 bobina del cilindro2 de doble efecto al recibir señal el vástago se retrae; Network 14 sensor inductivo para piezas ferrosas este activa relé interno.

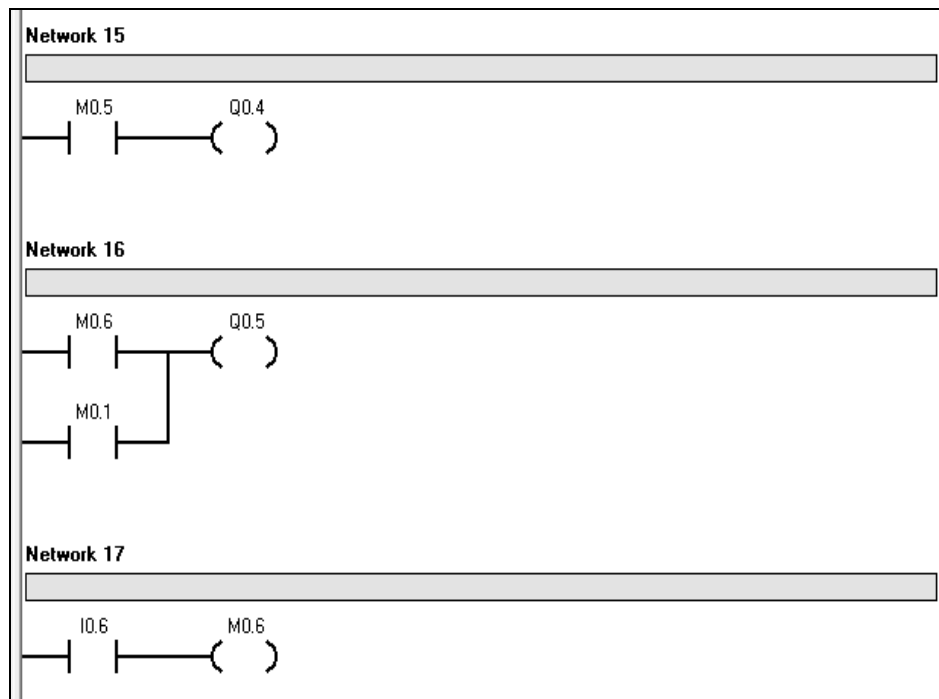


Figura 6.15 Network 15 bobina del cilindro 3 de doble efecto al recibir señal el vástago sale; Network 16 bobina del cilindro3 de doble efecto al recibir señal el vástago se retrae; Network 17 sensor fotoeléctrico emisor recetor este activa relé interno.

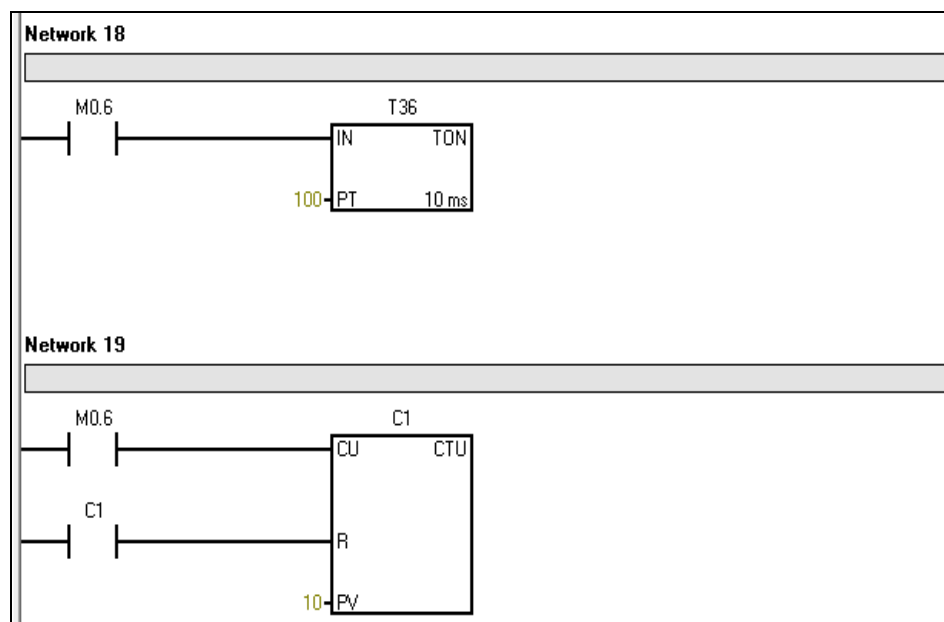


Figura 6.16 Network 18 temporizador con retardo a la conexión; Network 19 contador .

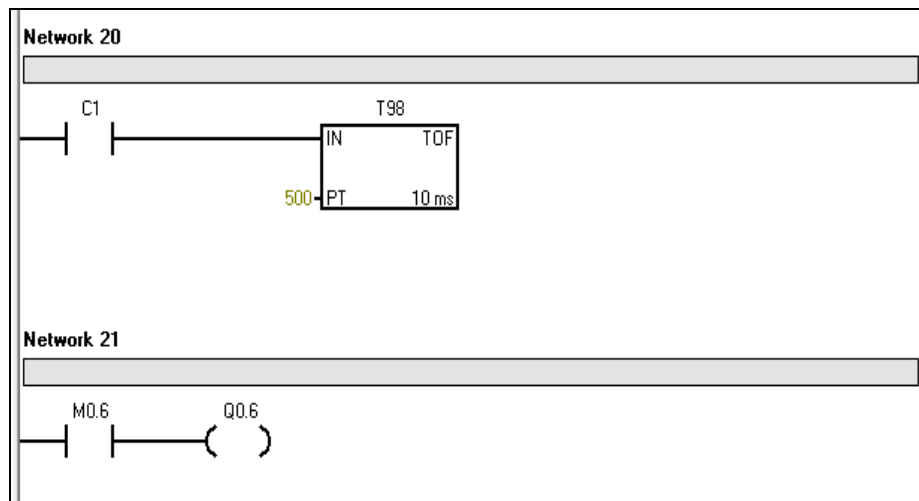


Figura 6.17 Network 20 temporizador con retardo a la desconexión; Network 21 bobina del cilindro simple efecto al recibir señal el vástago se retrae.

Después de elaborar el diagrama KOP se procede a guardar el proyecto y a cargarlo al CPU 224 de Siemens, para lo cual se siguen los siguientes pasos:

Guardar el proyecto

El programa queda listo tras haber introducido las operaciones en los tres segmentos. Al guardar el programa se crea un proyecto que incluye el tipo de CPU S7-200 y otros parámetros. Para guardar el proyecto:

- En la barra de menús, elija el comando de menú *Archivo > Guardar como*.
- En el cuadro de diálogo *Guardar como*, introduzca el nombre del proyecto.
- Haga clic en Aceptar para guardar el proyecto.

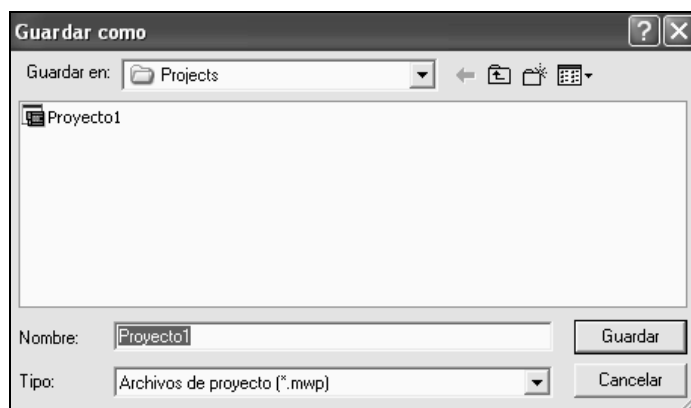


Figura 6.18 Ventana guardar proyecto.

Tras haber guardado el proyecto podrá cargar el programa en el S7-200.

Cargar el programa

Todos los proyectos de STEP 7-Micro/WIN están asociados a un determinado tipo de CPU (CPU 221, CPU 222, CPU 224, CPU 224XP ó CPU 226). Si el tipo de proyecto no concuerda con la CPU conectada, STEP 7-Micro/WIN visualizará un aviso de error, indicándole que debe realizar una acción, elija la opción Seguir cargando.

- En la barra de herramientas, haga clic en el botón *Cargar* o elija el comando de menú *Archivo > Cargar* para cargar el programa en la CPU (figura 6.19).
- Haga clic en Aceptar para cargar los elementos de programa en el S7-200.

Si el S7-200 está en modo RUN, S7 aparecerá un mensaje indicando que debe cambiar el S7-200 a modo STOP.

Haga clic en Sí para poner el S7-200 en modo STOP.



Figura 6.19 Cargar el programa.

Poner el S7-200 en modo RUN

Para que STEP 7-Micro/WIN pueda poner el S7-200 en modo RUN, el selector de modo de la CPU debe estar en posición TERM o RUN. El programa se ejecuta cuando el S7-200 cambia a modo RUN:

- En la barra de herramientas, haga clic en el botón RUN o elija el comando de menú **CPU > RUN**
- Haga clic en Aceptar para cambiar el modo de operación del S7-200.

Cuando el S7-200 cambia a modo RUN, el LED correspondiente a la salida Q0.0 se enciende y se apaga a medida que el S7-200 ejecuta el programa.



Figura 6.20 Poner el S7-200 en modo RUN

Para supervisar el programa puede seleccionar el comando de menú **Test > Estado del programa**. STEP 7-Micro/WIN visualizará los valores de las operaciones. Para detener la ejecución del programa, cambie el S7-200 a modo STOP haciendo clic en el botón STOP de la barra de herramientas, o bien eligiendo el comando de menú **CPU > STOP**.

6.5 Circuito eléctrico

En las siguientes figuras se muestra como quedaron conectadas las entradas y salidas en el PLC, además se muestra la alimentación eléctrica.

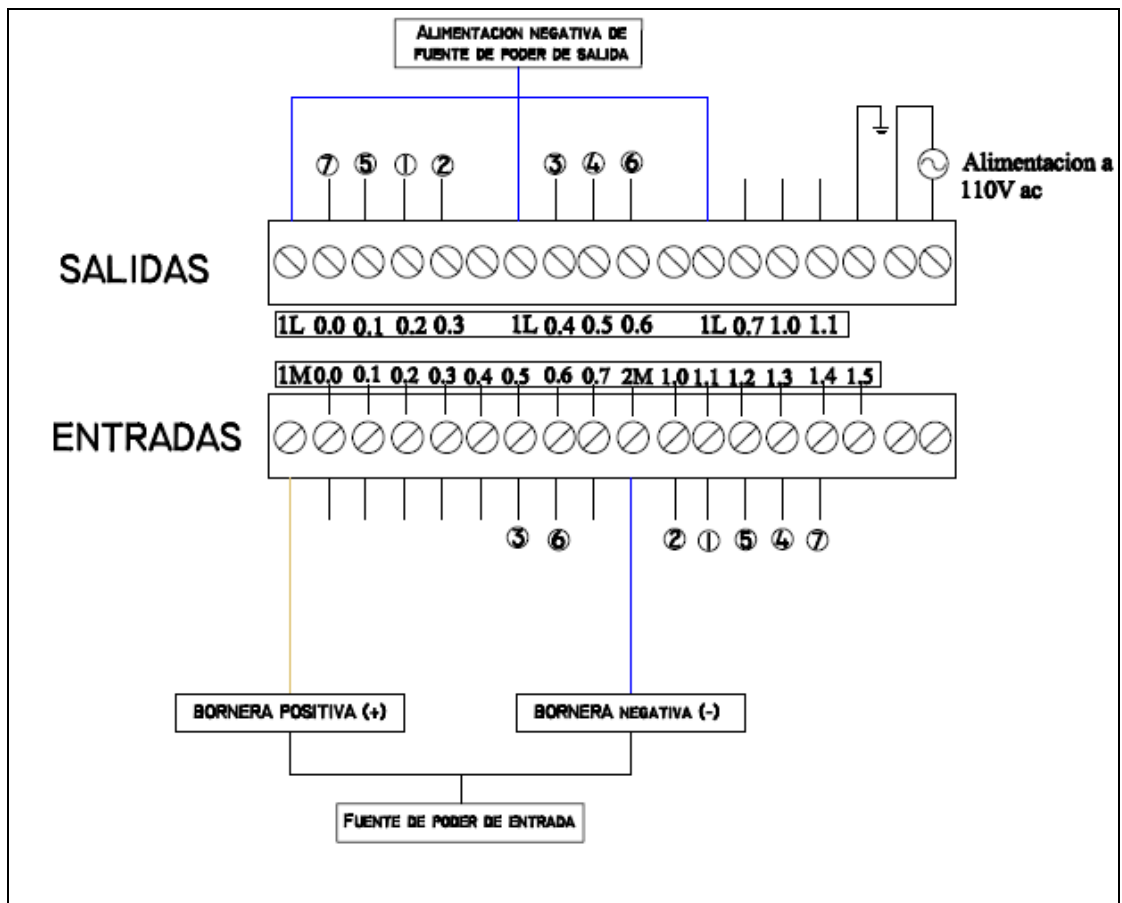


Figura 6.21 Conexión de entradas y salidas al PLC y alimentación del mismo.

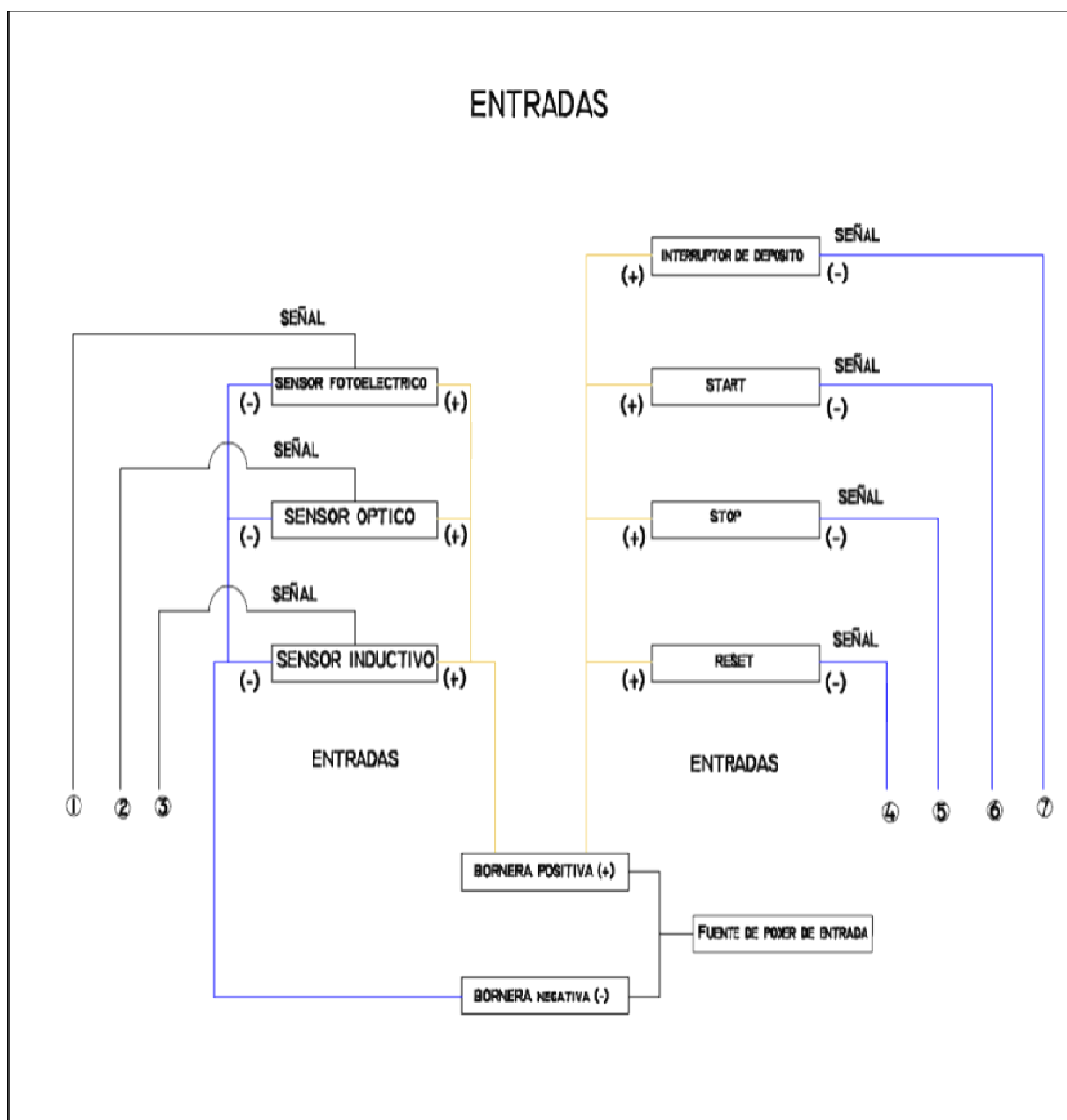


Figura 6.22 Alimentación de entradas.

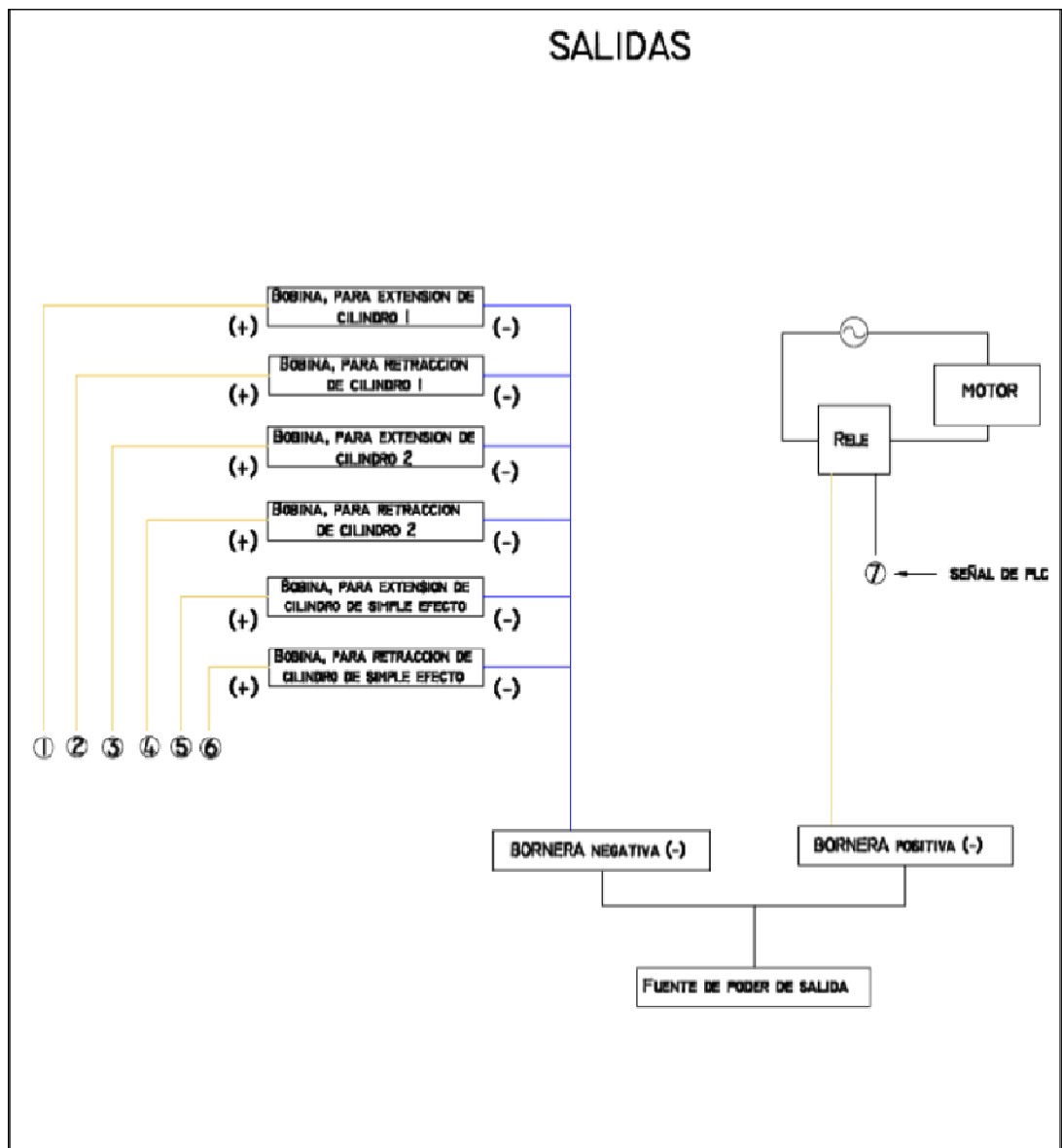


Figura 6.23 Alimentación de salidas.

CAPITULO 7

CONSTRUCCIÓN DEL MODULO.

7.1 Instalación y Mantenimiento del modulo.

7.1.1 Construcción del modulo

La construcción de la mesa de trabajo se realizo con tubo estructural para aumentar la vida útil de este, para facilitar su desplazamiento se instalaron rodillos en sus cuatro soportes de pie, se utilizo como forro melamina.



Figura 7.1 Módulo armado.

7.1.2 Placas de Montaje

Se construyeron dos placas de aluminio sobre la cual se instalaron las partes principales de los elementos mecánicos tales como el soporte del cilindro se simple efecto el cual se instalo a partir del diseño del módulo en su conjunto.

Debido a su aplicación deben de revisarse todos los aprietes de las uniones de todos estos elementos antes de poner en marcha el equipo ya que debido a las vibraciones ocasionadas por el motor instalado los elementos de sujeción como pernos pierden su apriete, ocasionando ruido. Otra de las placas principales de montaje es la que se construyo para el montaje de la banda transportadora y la parte de transmisión mecánica así como también los soportes para la instalación de sensores y separadores mecánicos.

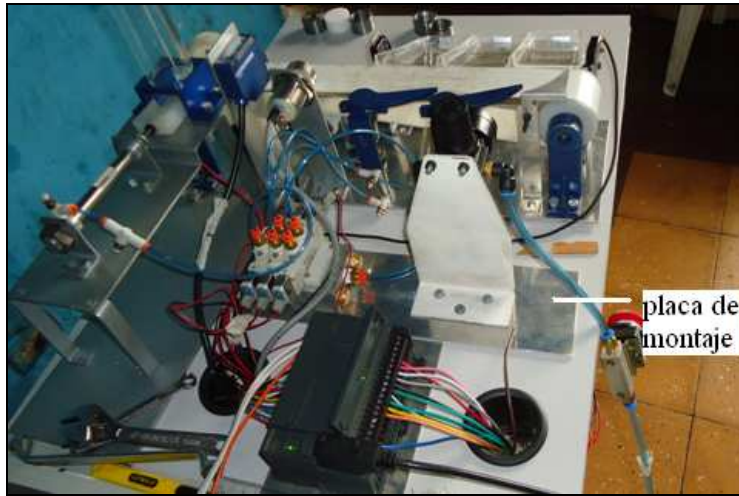


Figura 7.2 Placa de montaje

7.1.3 Montaje de la banda

Primeramente se realiza el montaje de los soportes de la banda transportadora sobre una de las placas metálicas diseñadas para este propósito, en los soportes se instalaron unos rodillos los cuales están soportados por cojinetes de carga radial, estos ya están lubricados internamente por lo que no necesitan lubricación para su operación por el momento. Al realizar la instalación de la banda transportadora se procede al ajuste de tensión para su operación.



Figura 7.3 Montaje de la banda

Si la banda transportadora ya no puede lograr la tensión necesaria esta debe de ser sustituida.

7.1.4 Montaje de transmisión mecánica

Debido a que este equipo está diseñado para uso didáctico se optó por el diseño y construcción del sistema de transmisión expuesto al ambiente, construido de NYLON para reducir ruido en la transmisión, este debe de ser lubricado como recomendación con aceite tres en uno y en poca cantidad ampliarlo cada vez que se ponga en uso en prácticas de laboratorio en todas las partes de contacto entre los engranes cónicos así como también en el conjunto de corana y sin fin, también en los ejes de soporte del tornillo sin fin y corona deben de lubricarse, en el momento del montaje de la corana y sin fin debe de revisarse que estén bien alineados y no queden forzadas las transmisiones esto debe de revisarse también para el acople de motor específicamente en el acople de engranes cónicos es muy importante que no quede forzado de no ser así se forzará el motor y este puede llegar a recalentarse y fundirse.

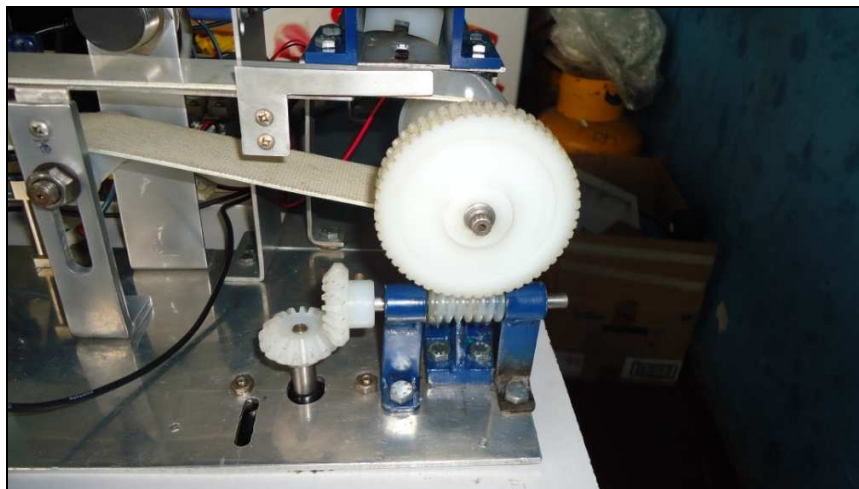


Figura 7.4 Montaje de transmisión

8.1.5 Montaje de Separadores

Estos fueron montados sobre la placa metálica donde se instalaron la banda transportadora, su función es separar las piezas transportadas a tres ramplas al final de la banda, estos deben de ser ajustados cada vez que el modulo se ponga a funcionar y verificar su ajuste para el funcionamiento.



Figura 7.5 Montaje de separadores

7.1.6 Ramplas Contenedoras

Estas fueron instaladas y ajustadas según las dimensiones y separaciones de los separadores estas no requieren de mayor mantenimiento solamente debe de mantenerse una superficie limpia y libre de abrasivos.



Figura 7.6 Ramplas

7.2 Instalación y montaje del CPU.

7.2.1 Reglas para montar el S7 200

El S7-200 puede montarse en un panel o en un riel normalizado (DIN) figura 7.7, bien sea horizontal o verticalmente.

Alejar los equipos S7-200 de fuentes de calor.

Alta tensión e interferencias Como regla general para la disposición de los equipos que conforman el sistema, aleje siempre los aparatos de alta tensión que generan interferencias de los equipos de baja tensión y de tipo lógico, tales como el S7-200.

Al configurar la disposición del S7-200 en el panel.

Tenga en cuenta los aparatos que generan calor y disponga los equipos electrónicos en las zonas más frías del armario eléctrico. El funcionamiento de equipos electrónicos en entornos de alta temperatura acorta su vida útil.

Considere también la ruta del cableado de los equipos montados en el panel.

Evite colocar los conductores de señalización y los cables de comunicación en una misma canalización junto con los cables AC y DC de alta tensión y de conmutación rápida.

Prever espacio suficiente para la ventilación y el cableado.

Para los equipos S7-200 se ha previsto la ventilación por convección natural. Por tanto, se deberá dejar un margen mínimo de 25 mm por encima y por debajo de los equipos. Asimismo, prevea por lo menos 75 mm para la profundidad de montaje.

En el montaje vertical, la temperatura ambiente máxima admisible se reduce en 10 grados centígrados. Monte la CPU S7-200 debajo de los módulos de ampliación.

Al planificar la disposición del sistema S7-200, prevea espacio suficiente para el cableado y la conexión de los cables de comunicación.

Para mayor flexibilidad al configurar la disposición del sistema S7-200, utilice un cable de conexión para los módulos de ampliación.

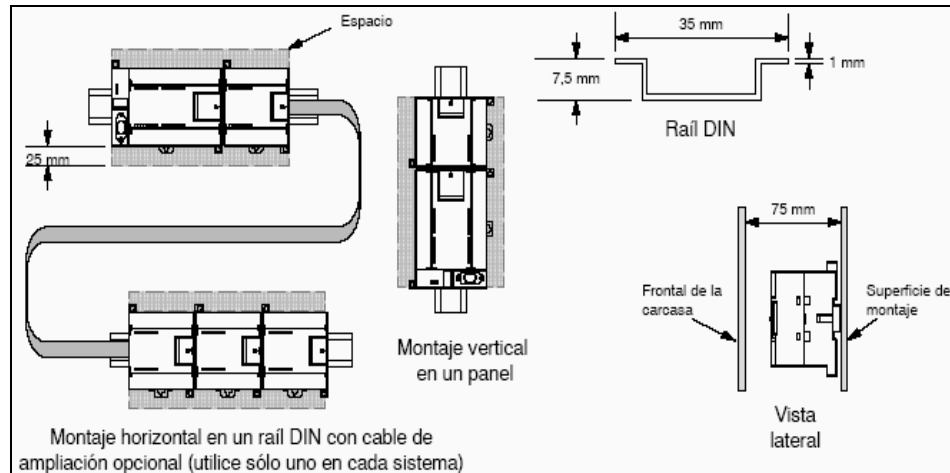


Figura 7.7 Métodos de montaje, orientación y espacio necesario

8.2.2 Reglas de puesta a tierra del S7-200

La mejor forma de poner a tierra la aplicación es garantizar que todos los conductores neutros y de masa del S7-200 y de los equipos conectados se pongan a tierra en un mismo punto. Este punto se debería conectar directamente a la toma de tierra del sistema. Para incrementar la protección contra interferencias es recomendable que todos los conductores de retorno DC neutros se conecten a un mismo punto de puesta a tierra. Conecte a tierra el conductor neutro (M) de la alimentación para sensores de 24 VDC. Todos los cables de puesta a tierra deberían tener la menor longitud posible y una sección grande, por ejemplo 2 mm^2 (14 AWG).

Al definir físicamente las tierras es necesario considerar los requisitos de puesta a tierra de protección y el funcionamiento correcto de los aparatos protectores.

7.2.3 Reglas de cableado del S7-200

Al diseñar el cableado del S7-200, provea un interruptor unipolar para cortar simultáneamente la alimentación de la CPU S7-200, de todos los circuitos de entrada y de todos los circuitos de salida.

Prevea dispositivos de protección contra sobreintensidad (por ejemplo fusibles o cortacircuitos) para limitar las corrientes excesivas en el cableado de alimentación. Para mayor protección es posible instalar un fusible u otro limitador de sobreintensidad en todos los circuitos de salida.

Instale dispositivos de supresión de sobretensiones apropiados en el cableado susceptible de recibir sobretensiones causadas por rayos.

Evite colocar los conductores de señalización y los cables de comunicación en una misma canalización junto con los cables AC y los cables DC de alta tensión y de conmutación rápida.

El cableado deberá efectuarse por pares; con el cable de neutro o común combinado con el cable de fase o de señal. Utilice el cable más corto posible y vigile que tenga una sección suficiente para conducir la corriente necesaria. El conector acepta cables con sección de 2 mm^2 a $0,3 \text{ mm}^2$ (14 AWG a 22 AWG). Utilice cables apantallados para obtener el mayor nivel de inmunidad a interferencias. Por lo general, se obtienen los mejores resultados si la pantalla se pone a tierra en el S7-200.

Al cablear circuitos de entrada alimentados por una fuente externa, prevea dispositivos de protección contra sobreintensidad en esos circuitos. La protección externa no se requiere en los circuitos alimentados por la alimentación para sensores de 24 VDC del S7-200, puesto que la alimentación para sensores ya está protegida contra sobreintensidad.

La mayoría de los módulos S7-200 disponen de bloques de terminales extraíbles para el cableado de usuario.

Para evitar conexiones flojas, vigile que el bloque de terminales esté encajado correctamente y que el cable esté insertado de forma segura en el conector. No apriete excesivamente los tornillos para evitar que se deteriore el bloque de terminales. El par máximo de apriete de los tornillos del bloque de terminales es de 0,56 N-m.

8.2.4 Conexión de la alimentación del S7--200

Conectar el S7-200 a una fuente de alimentación. La figura 7.8 muestra el cableado de una CPU S7-200 con alimentación DC o AC.

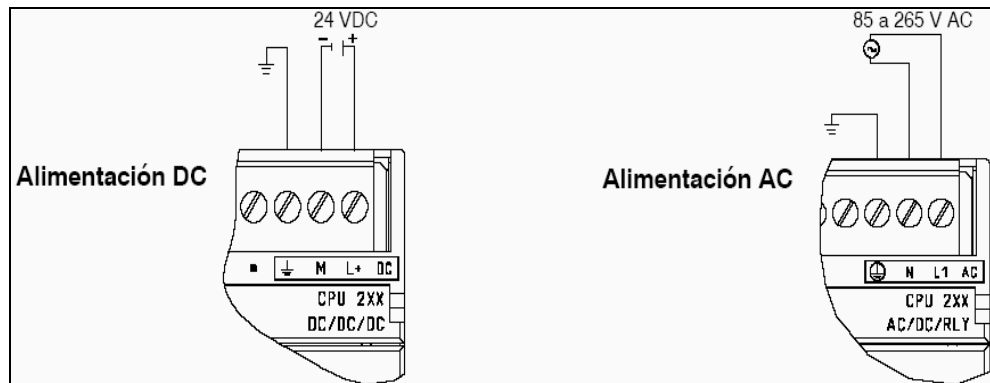


Figura 7.8 Conexión de la alimentación del S7--200

8.2.5 Conectar el cable multimaestro RS-232/PPI

La figura 7.9 muestra un cable multimaestro RS-232/PPI que conecta el S7-200 con la computadora.

Para conectar el cable:

- Una el conector RS-232 (identificado con "PC" con el puerto USB) del cable multimaestro RS-232/PPI al puerto de comunicación de la computadora. (En el presente ejemplo, conectar a COM 1.)
- Una el conector RS-485 (identificado con "PPI") del cable multimaestro RS-232/PPI al puerto 0 ó 1 del S7-200.
- Vigile que los interruptores DIP del cable multimaestro RS-232/PPI estén configurados como muestra la figura 8.3.

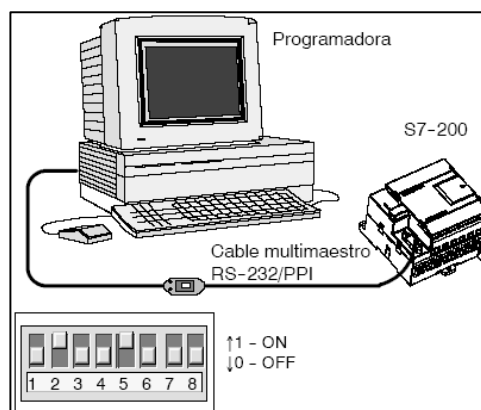


Figura 7.9 Conectar el cable multimaestro RS-232/PPI

7.3 Plan de mantenimiento

Objetivo

Establecer el plan de mantenimiento para EL MODULO CLASIFICADOR CONTROLADO POR PLC.

Alcance

ESTUDIANTES

ENCARGADO DE LABORATORIO

Operación	Descripción	Ene.	Feb.	Mar	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
1	Ajuste de pernos y tornillos	ANTES DE UNA PRACTICA DE LABORATORIO											
2	revisión de empalmes eléctricos												
3	revisión de puesta a tierra del PLC												
4	lubricación de sin fin y corona												
5	lubricación de engranes cónicos												
6	limpieza de electroválvulas												
7	limpieza de filtro regulador												
8	revisión de fusibles												
9	revisión de voltaje de fuentes												
10	revisión de voltaje de tomas												
11	limpieza general del equipo												

7.4 Presupuesto

CANTIDAD	CODIGO	DESCRIPCION	PRECIO	TOTAL
1	214-1BD23-0XB0	CPU 224 Siemens	432,28	432,28
1	I203015002	Sensor Fotoeléctrico	103,9	103,9
1	BPS3M-TDT	Sensor Fotoeléctrico Emisor Receptor	85,88	85,88
1	E5730GS10C	Sensor Inductivo	47,23	47,23
1	C85N12-50S	Cilindro neumático simple efecto de 12 mm de Diámetro y 50 mm de Largo	62,15	62,15
2	C85N10-10	Cilindro neumático doble efecto de 10 mm de Diámetro y 10 mm de Largo	44,07	88,14
3	SY5220-5LZ-01T	Electroválvula 5/2, dos bobinas de 24 v dc	84,75	254,25
1	SS5Y5-20-04	Manifold 4 estaciones	56,5	56,5
4	AS1201F-U10/32-01	Control de Velocidad en codo meter out, manguera de 1/8	8,48	33,92
1	MAFR200-6A	Filtro regulador	38	38
4	KM-02-S	Silenciador de 1/4 rosca corta	1,5	6
5	KQ2H01-34S	Racor recto rosca 1/8" NPT x 1/8"	2,5	12,5
1	KQ2H07-35S	Racor recto rosca 1/4" NPT x 1/4"	3	3
6		Manguera poliuretano 1/4"	1,5	9
9	TIUBO1BU	Manguera poliuretano 1/8"	0,69	6,21
1	SY5000-26-20A	Tapadera		
		Elaboración de engranes cónicos, tornillo sin fin, corona, rodillos, soportes de sensores, rampas, banda, deposito de probetas, mesa.	800	800
		Compra de cable calibre 22, cable calibre 14, tomas, pulsadores, interruptores, acoples rápidos automotriz, borneras, relés, motor, fuente de 24 volt., cautín, regleta, extensión eléctrica, regulador de velocidad	100	100
		gastos misceláneos	100	100
			TOTAL	2238,96

BIBLIOGRAFIA

- Neumática manual de estudio, Nivel Básico TP101, FESTO DIDACTIC.
- Manual del Estudiante, Electroneumática Avanzada, DEGEM SYSTEMS.
- Diseño de Maquinas, Robert L. Norton, Ed. Prentice Hall, México, 1999.
- Ingeniería de la Automatización Industrial, Ramón Piedrafita Moreno.
- Automatización Industrial Moderna, Victoriano Ángel Martínez Sánchez, Ed. Alfa omega, 2001.
- Dispositivos Neumáticos, W. Deppert/K. Stoll, Ed. Alfaomega, México, 2006.
- Neumática e Hidráulico, Antonio Creus Sole, Ed. Alfaomega, México, 2007.
- Autómatas Programables, Enrique Mandado/Jorge Marcos, Ed. Talleres Gráficos Valdez, España, 2008.
- Dibujo Técnico, Frederick E Giesecke, Ed. LIMUSA, decima edición.
- Sitios web.

ANEXOS