



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

---

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA**

**ING. ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**“AUTOMATIZACIÓN DEL PROCESO DEL CAFÉ EN LA  
COMUNIDAD DE TLACUILOTEPEC PUEBLA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTAN  
JOAQUIN TADEO ARELLANO PÉREZ  
JOSÉ LUÍS BUSTAMANTE ALMANZA**

**ASESOR:  
M. en C. EVA JEANINE LEZAMA ESTRADA**

**PACHUCA DE SOTO HGO.**

**AGOSTO 2007.**

A Dios por darme la vida y las fuerzas para seguir adelante, te doy gracias señor por ser mi inspiración, mi maestro, mi padre, mi todo.

A mis padres Joaquín y Galdina por que gracias a ellos he logrado mis logros siempre han sido la parte medular de mis éxitos, por que siempre han estado conmigo en las buenas y en las malas, siempre serán un ejemplo a seguir para mi los AMO.

A mi hermana Orquídea siempre ha sido un gran apoyo en mi vida y una consejera en mis problemas y dichas.

A Chely por ser fuente de mi inspiración, por mostrarme el amor en pareja y darme siempre un aliento de vida con su madurez y ganas de vivir; te AMO.

A mis amigos que siempre me han apoyado incondicionalmente.

A la M. en C. Eva Jeanine Lezama Estrada por su colaboración y ayuda en la realización de este documento.

A todos mis Maestros que he conocido a lo largo de mi vida ya que han dejado huella en mí.

## **Agradecimientos y dedicatorias:**

---

Antes que a nadie a Dios, gracias por tomar mi mano, permitirme caminar a tú lado y no soltarme, iluminando así mi camino mostrándome lo bello y maravilloso que es la vida.

A mi mamá, gracias por darme la vida, y no me refiero sólo a entregarme mi vida, sino también a darme la tuya entregándote y desgastando tu misma vida para darme siempre lo mejor de ti. Gracias también por tú ejemplo como ser humano íntegro y profesionalista siempre apasionada y ética. Simplemente GRACIAS esta es la mejor herencia. Te amo.

A la memoria de mi papá, gracias por que el tiempo que Dios nos permitió compartir siempre fuiste un gran amigo y un guía excepcional, gracias por ser ejemplo y modelo a seguir.

A mi hermana Annie por recorrer a mi lado este camino de la vida, gracias por tu apoyo y compañía durante toda mi vida, simplemente no sería el mismo sin ti. ¡Gracias!

A mi sobrina Annie, quien me ha robado el corazón y alegrado con cada momento en su compañía, siempre contarás con mi amor y apoyo incondicional.

A mis hermanos, Dulce, Anita, Balta y Ángel, Erika y Rey, por sus palabras siempre precisas en los momentos indicados, en gran parte este logro no solo es mío, es nuestro y por ello mi más sincero, profundo y eterno agradecimiento.

A mis amigos, gracias a todos y cada uno de ustedes, por que son las personas cercanas a uno quienes acompañan siempre este camino de la vida, que si bien, en si mismo es hermoso, lo es aun más en la compañía de personas a quien uno tiene la fortuna y el honor de llamar amigos. Gracias.

A mis maestros, uno sin duda alguna es el reflejo de todas las personas que Dios pone en su camino para recibir alguna enseñanza, corrección o regaño. Gracias por formarme y permitirme con ello poder presentar hoy este trabajo.

Con todo mi cariño José Luis Bustamante  
"Bus"

---

---

# Índice

<b>Introducción .....</b>	<b>i</b>
<b>Objetivo General .....</b>	<b>iii</b>
<b>Justificación .....</b>	<b>iv</b>
<b>Capítulo 1 Antecedentes Básicos.....</b>	<b>1</b>
1.1 Origen Del Café.....	1
1.2 Especies De Café.....	2
1.3 Importancia Del Café.....	4
1.4 Zonas De Producción y recolección En El Mundo.....	4
1.5 Proceso Del Café En El Contexto Global .....	5
1.6 Clasificación Del Café En Cuanto A Su Sabor Y Textura.....	6
1.6.1 El cuerpo .....	6
1.6.2 La acidez .....	6
1.6.3 La fragancia.....	7
1.7 Contexto Cafetalero A Nivel Internacional De México.....	7
1.8 El Café En México.....	7
1.9 Procesado del café en México .....	8
1.10 Situación Económica-Social De Los Productores De Café Minoritarios .....	9
1.11 Distribución En El Territorio Mexicano.....	12
<b>Capitulo 2 Fundamentos Neumáticos Generales.....</b>	<b>13</b>
2.1 Antecedentes Históricos De La Física. ....	13
2.1.1. Ubicación De La Neumática En La Física. ....	14
2.2. Fundamentos De Neumática:.....	15

---

2.2.1. Ley De Boyle-Mariotte .....	16
2.3. Dispositivos Compresores De Aire.....	17
2.3.1. Aire Comprimido.....	17
2.3.2. Motocompresor. ....	17
2.3.2.1. Partes Del Compresor .....	19
2.3.2.1.1. Regulación .....	19
2.3.2.1.2. Acumulador .....	20
2.3.2.1.3. Secador De Aire .....	21
2.4. Sistema Neumático. ....	23
2.4.1. Distribución Del Aire .....	23
2.4.1.1. Configuración De La Red De Tubos.....	24
2.5. Actuadores Y Dispositivos De Salida .....	25
2.5.1. Movimiento Rectilíneo .....	26
2.5.1.1. Estructura De Los Cilindros.....	26
2.5.1.2. Tipos De Cilindros. ....	27
2.5.1.2.1. Cilindros De Simple Efecto.....	27
2.5.1.2.2. Cilindro De Doble Efecto. ....	29
2.5.1.2.3. Cilindro Tandem .....	31
2.5.1.2.4. Cilindro Con Vástago Continuo .....	31
2.5.1.2.5. Cilindros Multiposicionales .....	32
2.5.1.3. Propiedades De Los Cilindros .....	33
2.5.1.3.1. Fuerza Del Émbolo.....	33
2.5.1.3.2. Carrera Del Vástago.....	33

---

2.5.1.3.3. Velocidad Del Émbolo .....	34
2.5.1.3.4. Consumo De Aire. ....	34
2.5.2. Movimiento Giratorio. ....	36
2.5.2.1. Motores De Émbolos.....	36
2.5.2.2. Motores De Aletas .....	37
2.6. Indicadores.....	38
2.7. Válvulas.....	39
2.7.1. Tipos De Válvulas.....	39
2.7.1.1. Válvulas De Cierre.....	39
2.7.1.2. Válvulas Antirretorno. ....	40
2.7.1.2.1. Elementos De Unión.....	40
2.7.1.2.1.1. Válvula De Simultaneidad. ....	41
2.7.1.2.1.2. Válvula Selectora.....	42
2.7.1.3. Válvula De Escape Rápido. ....	44
2.7.1.5. Válvulas De Llave.....	45
2.7.1.4. Válvulas De Caudal .....	45
2.7.1.6. Válvula De Estrangulación: Estrangulación En Ambas Direcciones.....	46
2.7.1.7. Válvulas De Estrangulación Y Antirretomo.....	47
2.7.1.8. Válvulas De Presión. ....	48
2.7.1.9. Válvulas Limitadoras De Presión .....	48
2.7.2. Tipos De Accionamiento De Válvulas.....	49
<b>Capítulo 3 Principios De Instrumentación .....</b>	<b>51</b>
3.1 Transductores .....	51

---

3.1.1 Tipos Transductores.....	52
3.1.2.1 Transductores De Proximidad Inductivos.....	54
3.2. Relés Y Contactores.....	55
3.2.1. Relé.....	55
3.2.1.1 Aplicaciones.....	56
3.2.1.2. Designaciones De Los Terminales Y Símbolos En Los Circuitos.....	56
3.3 El PLC.....	57
3.3.1 Definición Básica De Un PLC.....	57
3.3.2 Estándar Para PLC. Iec 1311.....	59
3.3.4 Fundamentos De Un PLC.....	61
3.3.4.1 Generación De Señales Digitales Y Binarias.....	61
3.3.4.2 Funciones Lógicas Básicas.....	62
3.3.5 Programación y Modo De Funcionamiento De Un PLC.....	63
3.3.5.1 Estructura De Un PLC.....	63
3.3.5.2 Unidad Central De Un PLC.....	65
3.3.5.3 Memoria Ram.....	69
3.3.5.4 Memoria Eprom.....	69
3.3.5.5 Memoria Eeprom.....	69
3.3.5.6 Módulo De Entradas.....	69
3.3.5.7 Módulo De Salida.....	72
3.3.6 Programación De Un PLC.....	76
3.3.6.1 Diagrama De Contactos.....	76
3.3.6.2 Lista De Instrucciones.....	79
3.3.6.3 Puesta A Punto Y Seguridad Funcional De Un PLC.....	81

---

3.3.6.3.1 Puesta A Punto .....	81
3.3.6.3.1.1 Verificación Del Hardware .....	81
3.3.6.3.1.2 Transferencia Y Pruebas Del Software .....	82
3.3.6.3.1.3 Optimización Del Software .....	83
3.3.6.3.1.4 Puesta En Marcha Del Sistema.....	83
3.3.6.3.1.5 Tensión De Control .....	83
3.3.6.3.1.6 Tensión De La Lógica.....	84
3.3.6.3.1.7 Supresión De Interferencia.....	84
3.3.6.3.1.8 Tensión Inducida .....	86
3.3.6.3.1.9 Paro de emergencia .....	86
3.3.6.3.1.10 Válvulas Neumáticas/Hidráulicas .....	88
3.3.6.3.1.11 Motores Eléctricos.....	88
3.3.6.3.1.12 Conexión segura ante un fallo.....	89
3.3.6.3.2 Comunicaciones Con PLC .....	89
3.3.6.3.2.1 La Necesidad De Comunicación .....	89
3.3.6.3.2.2 Transmisión de datos .....	90
3.4 Sistemas De Control Lógico .....	91
3.4.1 Sistemas De Control Lógico Sin Propiedades Memorizantes .....	91
3.4.2 Temporizadores .....	92
3.4.3 Contadores.....	93
<b>Capitulo 4 Procesado De Café Tlacuilotepec -La Ceiba .....</b>	<b>94</b>
4.1 Municipio De Tlacuilotepec .....	94
4.2 Cultivo y Procesamiento del café en el municipio de Tlacuilotepec. ....	94

---

4.2.1 Manejo Del Suelo. ....	94
4.2.2 Cultivo .....	95
4.2.3 Café Con Químicos .....	96
4.2.4 Abonado .....	97
4.2.5 Procesamiento Del Café .....	98
4.2.6 Municipio De La Ceiba .....	100
4.2.6.1 Procesamiento Del Café La Ceiba .....	101
<b>Capítulo 5 Automatización Del Proyecto .....</b>	<b>105</b>
5.1 Introducción .....	105
5.2 Etapas del proyecto.....	108
5.2.1 Remojo .....	108
5.2.2 Despulpado .....	109
5.2.3 Fermentación Del Café .....	110
5.2.4 Presecado .....	111
5.2.5 Secado .....	112
5.2.6 Tostado Y Molido Del Café.....	113
5.3 Programa En Lenguaje Escalera De Acuerdo Al Estándar IECC.....	114
5.3.1 Diagrama Eléctrico Y Conexiones Al PLC.....	115
5.3.2 Diagrama Neumático.....	116
5.4 Material A Emplear Y Costos .....	118
<b>Conclusiones .....</b>	<b>121</b>
Impacto Económico Y Social.....	121
<b>Glosario .....</b>	<b>123</b>

**Bibliografía..... 126**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**Capítulo 1 Antecedentes Básicos..... 1**

1.1 Café arábigo..... 3

1.2 Café de especie robusta..... 3

1.3 El café se cultiva en las regiones comprendidas entre los trópicos..... ..4

1.4 El café mexicano genera diversas fuentes de empleo  
(Café de Puebla) ..... ..8

1.5 La acción mecánica de las a aspas y el calor deriva que el tostado del  
Café sea uniforme. ....9

**Capitulo 2 Fundamentos Neumáticos Generales..... 13**

2.1 Presión de aire... ..... 15

2.2. La ley de Boyle-Mariotte:..... 16

2.3. Tipos de compresores..... 19

2.4. Acumulador... ..... 21

2.5. Secador de aire tipo de membrana. .... 22

2.6. Configuración de una red de tubos. .... 25

2.7. Partes de un cilindro..... 27

2.8. Cilindro de simple efecto. .... 27

2.9. Composición interna del Cilindro de membrana... ..... 29

2.10. Cilindro de doble efecto..... 29

2.11. Cilindro de doble efecto con amortiguación de final de carrera..... 30

2.12. Cilindro Tandem. .... 31

2.13. Cilindro con vástago continuo. .... 32

2.14. Cilindro multiposicional.....	32
2.15. Corte de un motor de embolo.....	37
2.16. Funcionamiento interno de un motor de aletas..	37
2.17. Válvula de cierre.....	40
2.18. Válvula antirretorno..	40
2.19. Válvula de simultaneidad: Función Y.....	41
2.20. Válvula electora: función O.....	42
2.21. Accionamiento de un cilindro con dos transmisores de señales...	43
2.22. Accionamiento de un cilindro con tres transmisores de señales...	43
2.23. Válvula de escape rápido, evacuación de aire...	44
2.24. Válvula de grifo.....	45
2.25. Válvula de caudal en ambas direcciones...	45
2.26. Válvula de estrangulación en ambas direcciones.....	46
2.27. Válvula de estrangulación y antirretorno...	47
2.28. Válvula reguladora de presión.....	48
2.29. Representación de diversos tipos de accionamientos.....	50
<b>Capítulo 3 Principios De Instrumentación .....</b>	<b>51</b>
3.1. Variedad de transductores. ....	51
3.2. Transductor de presión.....	53
3.3. Esquema de transductores.....	54
3.4. Esquema interno de un relé .....	56
3.5. PLC serie fec 20 de FESTO 12 entradas 8 salidas a relevador...	64
3.6 Módulo de entradas.....	71

---

3.7. Módulo de salidas...	73
3.8 Diagrama escalera desarrollado en el programa FST de festo...	79
3.9 Programa en listado de instrucciones desarrollado en el programa FST de festo.....	80
3.10 Ejemplo de un paro de emergencia en un circuito eléctrico Con simbología americana.....	87
<b>Capitulo 4 Procesado De Café Tlacuilotepec -La Ceiba.....</b>	<b>94</b>
4.1 Municipio De Tlacuilotepec .....	94
4.2 Relieve de la zona conocida como “La Cueva” en el municipio De Tlacuilotepec.....	96
4.3. Revisión a las plantas del café para determinar en que porcentaje Será necesario abonar .....	97
4.4. Granos de café rojizos listos para su corte.....	99
4.5. Despulpadora Manual. ....	99
4.6. Extendido del café.....	100
4.7. Ubicación del municipio la Ceiba.....	101
4.8. Recolección del café.. ....	102
4.9 El café llega casi limpio al siguiente modulo gracias a los canales Con rejillas.....	102
4.10 Cisternas donde el café se fermenta por 10 horas.....	103
4.11 El café sube hasta estos cilindros posteriormente las Compuertas se abren manualmente y el café cae hasta las secadoras... ..	103
<b>Capítulo 5 Automatización Del Proyecto .....</b>	<b>105</b>
5.1 Diseño fundamental de un PLC.....	105
5.2 Etapas .....	106
5.3 Diagramas de la sección de remojo. ....	107

5.4 Sección de diagrama escalera que controla el PLC.....	108
5.5 Diagramas de la sección de despulpado.....	109
5.6 Sección de fermentación del café. ....	110
5.7 Sección de presecado del café. ....	111
5.8 Sección de Secado. ....	112
5.9 Tostado, Secado y Molido. ....	113
5.10 Programa Principal.....	114
5.11 Diagrama eléctrico del proceso del PLC .....	115
5.12 Conexiones al PLC.....	116
5.13 Diagrama neumático. ....	116

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Capítulo 1 Antecedentes Básicos.....</b>	<b>1</b>
1.1. Superficie Cultivada con Café en México (hectáreas).....	11
1.2. Producción por Estado. Ciclo 1997-98. (Sacos de 60 kg).....	12
<b>1.3. Capítulo 2 Fundamentos Neumáticos Generales.....</b>	<b>13</b>
2.1 Clasificación de la Física.....	13
2.2 Espacios muertos de cilindros ( $1000\text{ cm}^3 = 1\text{ l}$ ).....	35
2.3 Indicadores luminosos.....	39
<b>Capitulo 5 Automatización del Proyecto.....</b>	<b>105</b>
5.1 Conexiones al PLC.....	117
5.2 Costos de equipo eléctrico y neumático.....	119
5.3 Relación costo Beneficio .....	119

## Introducción

La región centro y sur de México se ubica en la zona comprendida entre los trópicos de cáncer y capricornio, esta situación geográfica le permite desarrollar la actividad de la cafecultura, siendo esta de gran importancia para la economía nacional.

Las actividades que debe realizar el cafecultor son muy diversas y comprenden desde la preparación del terreno donde crecerá el cafetal, hasta el despulpado y secado del café si este lo vende a un intermediario, o hasta el tostado y molido cuando es para su propio consumo.

De tal forma que el cafecultor normalmente vende su producto a intermediarios obteniendo así una escasa ganancia. Es por ello que cada vez es más común el abandono de esta actividad de gran tradición e importancia económica.

En la actualidad con los adelantos científicos en áreas como la neumática, la hidráulica, y desde luego la electrónica, es muy sencillo y costeable pensar en la idea de un proceso que normalmente se realiza a mano, pueda estar automatizado, reduciendo con esto tiempos y costos de producción.

El PLC es un controlador ideal para este tipo de automatizaciones ya que con un sencillo programa diseñado según las necesidades del proyecto y de sus conexiones de entradas y salidas, podemos contar con un sistema automatizado muy eficiente.

Los actuadores, es decir, los dispositivos que se accionarán para desempeñar el trabajo, pueden ser eléctricos, hidráulicos o neumáticos ofreciendo cada uno diferentes ventajas o desventajas según las características de cada proyecto.

El presente trabajo pretende emplear los avances tecnológicos en el área de la automatización y la electrónica para ofrecer una alternativa práctica y económicamente viable de tal forma que al cafecultor le siga pareciendo atractiva la idea de continuar con su labor pudiendo contar con el tiempo necesario para realizar algún otro oficio incrementando así su ingreso.

En el primer capítulo hablaremos del origen del café, sus características y sus clasificaciones, para así poder explicar su vital importancia en la economía.

El segundo capítulo tocará ampliamente el tema de la neumática, ya que serán este tipo de actuadores los que se emplearán para la realización de este proyecto, los principales puntos tratados en este capítulo son la generación de aire comprimido y los tipos y clasificación de los actuadores neumáticos.

El tercer capítulo nos pone en el contexto de la instrumentación y sistemas de automatización, de tal forma que los temas que se desarrollan en él son los tipos de sensores y transductores, y las funciones de un PLC.

Posteriormente el siguiente capítulo nos ubica en la situación actual de dos importantes zonas de producción de café como son los municipios de Tlacuilotepec y La Ceiba en el estado de Puebla.

Por último en el capítulo 5 se desarrolla todo el proyecto que se pretende automatizar, en él podemos ver por separado en cada una de sus etapas, como es su circuito eléctrico, el desarrollo de su programa para el PLC y en caso de emplearse, su circuito neumático.

## **Objetivo General**

Este trabajo se realiza con el propósito de ofrecer una alternativa costeable a los cafecultores del municipio de Tlacuilotepec Puebla para que sean ellos mismos quienes puedan procesar el café que cultivan, incrementando sus ganancias sin la necesidad de buscar otras alternativas tales como la migración. De tal manera que con una inversión inicial accesible, puedan recuperarla en poco tiempo e incrementar satisfactoriamente el margen de utilidad.

## **Justificación**

Debido a la emigración de campesinos, a ciudades más industrializadas, uno de los problemas a los que se enfrentan sus comunidades, es la de atender el proceso de producción del café sin contar con las personas que normalmente se encargaban de estas labores, esto trae como consecuencia, el abandono de los cafetales, traduciéndose en grandes pérdidas económicas. Aunado a esto, el fenómeno de la emigración tiene como consecuencia un fuerte impacto cultural en las comunidades, y el incremento de enfermedades venéreas.

De tal suerte que el campesino debe tomar la difícil decisión de emigrar en busca de otra fuente de empleo y dejar en el abandono su cafetal, o quedarse a trabajarlo sin saber si las condiciones climatológicas como sequías o heladas le permitirán lograr un buen ingreso económico.

Por tal motivo, hemos decidido, automatizar este proceso de producción, con el fin de que aunado a los ingresos que pueda tener el campesino en otra actividad, siga obteniendo ingresos significativos gracias al café.

## Capítulo 1

### Antecedentes Básicos

#### 1.1 Origen del café

Del Turco *kahvé*; su uso como producto de consumo se remonta a varios siglos atrás, hay evidencia de su consumo desde el siglo VIII, inicialmente se utilizaba como alimento, después fue consumido como bebida fermentada, medicina y finalmente como brebaje.

Es la tradición árabe la que contiene mayores versiones sobre el descubrimiento de sus efectos estimulantes.

Una leyenda narra la historia de un pastor llamado Kaldi, quien al buscar pastizales para sus cabras, llega a un lugar donde los animales comen granos silvestres de color negro, posteriormente el pastor observa cómo estos saltaban y se encontraban en gran actividad física. Entonces Kaldi decidió probar las hojas del arbusto y al poco tiempo se sintió lleno de energía. Este individuo según la tradición árabe fue el primer hombre que descubrió los poderes estimulantes del café. Kaldi llevó a un monasterio algunos frutos y ramas de ese arbusto. Donde contó al Abad lo ocurrido con las cabras y con él mismo. El Abad cocinó las ramas y las cerezas resultando una bebida muy amarga que él tiró al fuego. El aroma producida al contacto de las cerezas con las brazas hicieron que el Abad pensara en hacer una bebida basada en el café tostado, y es así como la bebida del café nació.

El café es originario de los montes boscosos de Abisinia, hoy Etiopía desde allí se extendió su cultivo y consumo por Arabia y oriente medio, probablemente a través de peregrinos musulmanes que viajaban a La Meca, ya que las rutas de peregrinación fueron al mismo tiempo, durante siglos, grandes rutas comerciales.

Llegó a **Europa** hasta 1645 gracias al comerciante veneciano Pietro Della Valle. Inglaterra inició su consumo en 1650 debido al comerciante Daniel Edwards, quien fue el primero que abrió un establecimiento de café en Inglaterra y en Europa. La gran aceptación que tuvo en Europa hizo que se intentara su cultivo en las colonias de ultramar.

Fueron los holandeses quienes lo aclimataron en los jardines botánicos de Ámsterdam, París y Londres posteriormente en Guayana, los franceses, mientras tanto, lo introdujeron en las Antillas, llegando así a Sudamérica de donde pasó a México y otros países alrededor del año 1810 por misioneros jesuitas.[1]

## 1.2 Especies de café

La planta de origen africano, pertenece al género *coffea* de la familia de las rubiáceas, y comprende alrededor de 70 especies, de las cuales aproximadamente 10 son utilizadas para el consumo de café. Es un árbol, pero en las plantaciones comerciales se poda a una altura de entre 1.5 y 2 metros.

Las más comunes para este tipo de consumo en bebida son:

- **Arábica:** especie de frutos redondos, levemente agrios y suaves, presenta un color café oscuro. Crece en alturas de entre 900 y 2,000 metros. De intenso perfume y corteza lisa. Tiene un contenido de cafeína relativamente bajo (entre un 0.9% y un 1.5%). Es de los más apreciados, su cultivo es delicado y requiere de muchos cuidados, este tiene mayor auge a causa de las mutaciones y la adaptación a tierras y climas distintos (*Figura 1.1*).

---

[1] Enciclopedia SALVAT, Salvat Editores S.A Barcelona 1986 Tomo 3



*Figura 1.1* Café arábigo.

- **Robusta:** esta especie es más resistente y más productiva que la anterior ya que su maduración es más rápida. Se cultiva sobre todo en África en terrenos bajos, las plantas son de mayores dimensiones, de granos menos perfumados, y más fuertes, sus costos son más bajos y su contenido en cafeína muy superior (entre un 2% y un 4.5%).[2]



*Figura 1.2* Café de especie robusta.

---

[2] <http://www.juanvaldez.com/espanol/menu/index.html>

### 1.3 Importancia del café

Cabe mencionar que el café es el segundo producto de importancia en el mercado internacional, después del petróleo. Este se encuentra dentro de los diez primeros productos con mayor valor.

En Uganda, Burundi y Ruanda, este producto representa el 80 por ciento de sus exportaciones constituyendo la principal raíz de ingreso de divisas de las que dependen, además es eje de la economía de más de 41 naciones.

Actualmente se producen 11 millones de toneladas en Centro América y México. [3].

### 1.4 Zonas de producción y recolección en el mundo

En América es donde actualmente se encuentran las mayores plantaciones del mundo, esto debido a sus condiciones climatológicas y orográficas, ya que la semilla del café encuentra el lugar más idóneo para su cultivo. Hoy en día, Brasil y Colombia son los mayores productores de café.

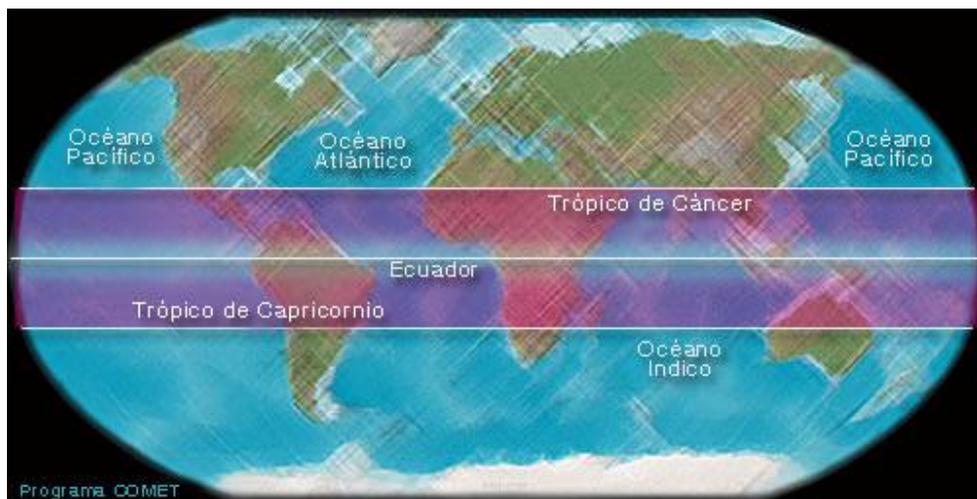


Figura 1.3 El café se cultiva en las regiones comprendidas entre los trópicos. [4]

[3] Santoyo Cortés, Horacio, S. Díaz Cárdenas y B. Rodríguez P. 1995. Sistema agroindustrial café en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 176 p  
[4] [http://meted.uca.edu/hurricane/strike\\_es/text/images/worldmap.jpg](http://meted.uca.edu/hurricane/strike_es/text/images/worldmap.jpg)

Todas las variedades se cultivan en zonas de climas tropicales, es así como la producción del café se localiza dentro del área delimitada entre los trópicos de Cáncer y de Capricornio (figura 1.3), por lo tanto incluye:

Centro y Sudamérica que es la primera región productora del mundo con Brasil como principal productor, seguido de Colombia, El Salvador, Honduras, Costa Rica, Guatemala, México, Antillas, Nicaragua, Panamá, Venezuela, Ecuador, Paraguay, Perú, y Guyanas. En África así mismo destacan Costa de Marfil, Etiopía, Uganda, Zaire, Ruanda, Madagascar, Angola, Tanzania y Kenia entre otros países. En Asia, India, Borneo, Indonesia y Vietnam.

## **1.5 Procesado tradicional del café**

Cuando las cerezas alcanzan un color rojo intenso, están listas para ser cosechadas. En ese momento cada cereza se cosecha individualmente; una vez terminada la cosecha, todas las cerezas del árbol son puestas en sacos y luego transportadas en burros o mulas.

Después son procesadas en el único medio mecánico que disponen los campesinos: la máquina despulpadora. Esta máquina separa la pulpa de las semillas que se encuentran en el centro de cada cereza. Los dos granos son planos en un lado y redondeados en el otro. La pulpa o cobertura roja es devuelta al suelo para ser utilizada como abono, mientras que los granos, aún envueltos en una dura cáscara apergaminada, son puestos en enormes tanques de concreto.

Aquí se colocan en remojo en agua fría durante 24 horas. El remojo provoca una suave fermentación, vital para el aroma del café.

Los granos son lavados cuidadosamente en largas piletas de concreto. Allí se descartan ramas, suciedad y granos de baja calidad.

Cuando culmina el proceso de lavado, los granos deben ser secados. Para ello, son recogidos y puestos en grandes canastas de mimbre. Luego son esparcidos en grandes terrazas al aire libre, donde se les da vuelta una y otra vez hasta que el sol y el aire los seca por completo. Es necesario guardar los granos en costales cuando llueve y durante la noche.

Posteriormente los granos se encuentran en una fase de producción llamada café pergamino, aquí es donde acaba el procesamiento por parte de los cafecultores el café es comprado por los acaparadores quienes les venden el café de primera a las transnacionales, y el café de segunda es ocupado por los habitantes de la región.

## **1.6 Clasificación del Café en cuanto a su sabor y textura**

El café se categoriza en cuanto a su:

- Cuerpo,
- acidez y
- fragancia

### **1.6.1 El cuerpo.**

Es la sensación de llenar la boca. Se encuentra más en el café robusto, en menor medida en los arábigos naturales y es prácticamente nulo en los arábigos lavados.

### **1.6.2 La acidez.**

Cuanto mayor sea la altitud a la que se cultiva el cafeto, mayor es la acidez del café. Por tanto, los cafés robustos carecen de ella, mientras los arábigos, ya sean lavados o secos, tienen una acidez variable, precisamente en función de la altitud a la que hayan sido cultivados.

### 1.6.3 La fragancia.

Se entiende como una mezcla entre el gusto y el aroma. Los robustos son cafés con gustos amargos y aromas fuertes. Los arábigos se caracterizan por su fragancia agradable y suave. Sin embargo, aún teniendo muy en cuenta estos factores, existen otros agentes ajenos al propio cultivo del café, como puede ser la figura del tostador, que también influyen en la degustación final de una taza de café.

El tostador tiene una participación crucial en el proceso final del café. El gusto y el aroma, sometidos a la acción del calor pueden sufrir importantes transformaciones que alteren o refuercen el sabor final.

## 1.7 Contexto cafetalero a nivel internacional de México

El país ocupa el quinto lugar como productor de café después de Brasil, Colombia, Indonesia y Vietnam. El quinto lugar por la superficie de cultivo, con alrededor de 750 mil hectáreas. El noveno lugar por su rendimiento. El primer lugar en la producción de café orgánico certificado. México es la nación productora con el menor nivel de consumo interno.<sup>[5]</sup>

## 1.8 El Café en México

Según datos publicados por el gobierno federal a inicios del siglo XIX en el Comercio Exterior de México, durante los años de 1802, 1803 y 1805, se exportaba café en grandes cantidades. Este café era originario de Córdoba, Veracruz.<sup>[6]</sup>

El café en México (*figura 1.4*) destaca por su importancia económica y social. La gran mayoría de los productores son campesinos e indígenas para quienes el café es su principal fuente de ingreso. Con un volumen de producción de entre 4 y 5 millones de sacos por año México produce del 3 a 6 por ciento del café mundial, en unas 780 mil

---

<sup>[5]</sup> [www.guiamiguelin.com/café](http://www.guiamiguelin.com/café)

<sup>[6]</sup> [www.guiamiguelin.com/café](http://www.guiamiguelin.com/café)

hectáreas. El 66 por ciento lo cultivan productores con menos de 10 hectáreas y 45 por ciento son pequeños agricultores que cuentan con menos de cinco hectáreas. En los estados de Chiapas y Oaxaca se encuentran poco más de la mitad de ellos, que en su mayoría no cuentan con más de 2 hectáreas plantadas y aportan cerca del 43 por ciento de la producción nacional.



*Figura 1.4 El café mexicano genera diversas fuentes de empleo (café de Puebla).*

En México el café se cultiva en 12 estados: Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, San Luis Potosí, Nayarit, Colima, Jalisco, Querétaro, Tabasco y por último Puebla que es de donde parte nuestra investigación. Ocupando así el primer lugar como producto agrícola generador de divisas y empleos en el medio rural.

## **1.9 Procesado del café en México**

El cultivo tarda de 4 a 5 años en producir su fruto. La cereza del café se corta de manera manual una por una. Después se lleva a “despulpar” (esto significa quitar la

pulpa a la cereza y todo rastro de la fermentación). Viene después el “secado”, que es también sumamente importante en el proceso de obtención del café.

En México este último proceso generalmente se lleva a cabo en asoleaderos que se extienden en los patios, es un proceso natural con el sol del día. El secado tarda de 4 a 5 días pero con maquinaria éste se realiza en 30 horas. Así es como se llega al café “pergamino”, o de “almendra”, con esta capa protectora es como se mantiene con un 12% de humedad y se puede guardar seco durante semanas, meses o hasta un año sin que se deteriore su calidad.

Posteriormente es procesado en un molino donde el pergamino es removido ahí se obtienen el café “oro” mismo que es tostado en tostadoras especiales para café (Figura 1.5).<sup>[7]</sup>



*Figura 1.5 La acción mecánica de las a espas y el calor provoca que el tostado del café sea uniforme.*

### **1.10 Situación económica-social de los productores de café minoritarios**

El café genera gran cantidad de divisas, más de 700 millones de dólares anuales, pero, para la generalidad de los productores con algunos apoyos gubernamentales, una familia que cosecha café en un terreno con más de dos hectáreas puede tener entradas equivalentes de hasta un salario mínimo diario.

---

<sup>[7]</sup> <http://www.juanvaldez.com/espanol/menu/index.html>

México cuenta con 283 mil pequeños productores, mismos que se hallan, en 56 regiones de 12 estados del país, 200 mil tienen tierras que no sobrepasan las dos hectáreas.

El 60%, de las 4,500 comunidades productoras de café, son indígenas además, 349 de los 411 municipios donde se produce café en el país son de severa o muy severa marginalidad. Mientras que una taza de café que en un restaurante de la Ciudad de México fluctúa entre los 10 ó 15 pesos, un productor solamente obtiene 8 centavos.

En México existen más de 12 mil agricultores de café en el sector social se cultivan 15 mil hectáreas y producen más de 200 mil sacos de 50 kilos.

En México, más de 260 mil pequeños cafecultores cultivan en zonas localizadas entre los 600 y los mil 500 metros de altura, en terrenos montañosos, susceptibles a la erosión.

En el Istmo, la producción de café, es mermada por la salud ya que sólo hay un médico por cada 2,780 habitantes, en comparación con el promedio en el resto del país donde la relación es de un médico por cada 1,850 habitantes, y con el conjunto de países industrializados, para los que la relación es de un médico por cada 390 habitantes.<sup>[8]</sup>

La mayoría del café exportado era cultivado por el mismo gobierno mexicano, a través del Instituto Mexicano del Café (INMEcafé). Provocando que sólo un reducido grupo de comercializadores y exportadores de la iniciativa privada aprovechara este como modo de vida.

---

<sup>[8]</sup> Sagar, 1999. Consejo Mexicano del Café. Claridades Agropecuarias, pag 10- 25

### 1.11 Distribución en el territorio Mexicano

El país es una república federal dividida en 32 estados. El café obtenido en el país se concentra en 12 estados, de los cuales 5 de ellos que son: Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla y Guerrero. Los datos de producción y superficie cultivada pueden observarse en los cuadros 4 y 5.

Estado	1990	1991	1992	1993	1994
Chiapas	165,000	266,790	231,329	231,329	231,328
Veracruz	132,093	149,057	140,887	141,887	152,438
Oaxaca	186,752	189,300	189,500	180,500	180,575
Puebla	64,752	72,440	65,240	70,176	63,357
Guerrero	38,515	35,818	39,658	38,783	39,230
Otros	113,322	72,496	110,617	94,784	92,974
Nacional	700,444	785,901	776,925	757,423	759,902

Estado	1995	1996	1997	Tasa crec.
Chiapas	231,328	231,329	231,329	5.73
Veracruz	152,438	152,993	150,187	1.96
Oaxaca	180,374	183,106	180,239	-0.50
Puebla	67,390	67,825	67,825	0.68
Guerrero	40,366	39,040	39,584	0.40
Otros	95,995	93,216	91,808	-2.71
Nacional	767,891	767,509	760,972	1.23

Tabla 1.1 Superficie Cultivada con Café en México (hectáreas)<sup>[9]</sup>

En Chiapas, sin embargo, la estructura de las haciendas se ha mantenido vigente en gran parte del territorio estatal; en gran medida la hacienda (las grandes fincas) están estrechamente vinculadas a la producción de café. Por otro lado, los agricultores campesinos, tradicionalmente enfocados a la subsistencia, por efecto del contacto con

<sup>[9]</sup> Fuente: SAGAR.1999. Centro de Estadística Agropecuaria. Claridades Agropecuarias. Página 5.

las plantaciones en función del trabajo como jornaleros agrícolas, poco a poco introdujeron el café en el sistema de huertos familiares, que al ampliarse condujo a una liga entre la agricultura de subsistencia (maíz y frijol) con la agricultura comercial (café), en que las condiciones de competencia son sumamente desventajosas para la agricultura campesina.

ESTADO	Producción	% de la nacional
Chiapas	1,573,390	32.8
Veracruz	1,392,381	29.0
Puebla	820,247	17.1
Oaxaca	490,220	10.2
Guerrero	202,747	4.2
Otros 7	321,915	6.7
Total	4,800,900	100

Tabla 1.2. Producción por Estado. Ciclo 1997-98. (Sacos de 60 kg)<sup>[10]</sup>

Tomando en cuenta lo anterior, podemos observar la gran importancia a nivel mundial del café desde hace varios siglos, importancia que hoy en día tiene gran impacto financiero y cultural.

A pesar de que es en el cafeticultor en donde reside la mayor cantidad de trabajo, es él, quien percibe la menor parte de las utilidades, este sistema es muy apreciable en Latino América.

La falta de recursos en esta zona deriva en que los procesos de producción son muy rudimentarios y se han mantenido estancados durante mucho tiempo y a pesar de la existencia de tecnología de punta utilizada por los grandes comerciantes, esta resulta inalcanzable y desconocida para los pequeños productores.

<sup>[10]</sup> Fuente: SAGAR.1999. Centro de Estadística Agropecuaria. Claridades Agropecuarias. Página 5

## Capitulo 2

### Fundamentos Neumáticos Generales

#### 2.1 Antecedentes históricos de la física

La física antiguamente se designaba con el nombre de filosofía natural; esto significa que se encargaba de describir y explicar a la naturaleza; esto se logra mostrando su relación con verdades aceptadas anteriormente llamadas leyes, las cuales se expresan en función de diferentes variables en forma de modelos matemáticos.[1]

Ahora bien, debido a la diversidad de fenómenos que ocurren en la naturaleza, la física se ha dividido en diferentes áreas de acuerdo al tipo de fenómeno o energía a la que se refiera como lo muestra el siguiente cuadro:

<b>Clasificación</b>	<b>Definición</b>
<b>Mecánica</b>	Estudia el movimiento y equilibrio de los cuerpos, tomando en cuenta las causas que los producen. Se subdivide en: Cinemática, Estática y Dinámica.
<b>Acústica</b>	Estudia los sonidos, los cuales provienen de un movimiento vibratorio y se transmiten en el medio, pero jamás en el vacío.
<b>Termodinámica</b>	Estudia los cambios de estados causados por el suministro o sustracción de energía térmica.
<b>Electricidad y magnetismo</b>	El magnetismo es la propiedad que adquieren los cuerpos de atraerse o repelerse mutuamente. La electricidad es el movimiento de electrones que rodean al núcleo del átomo
<b>Óptica</b>	Estudia a la luz como un movimiento ondulatorio

Tabla 2.1 Clasificación de la Física. [2].

[1]Henry A. Perkins. Física general. México. Ed. Prentice Hall.

[2]Contreras C. Enrique. Física Elemental. México. Ed. Herrero S. A.

De estas áreas de la física en la que haremos más énfasis en la electricidad, ya que de esta se desprende la electrónica que es la base, como veremos más adelante, de un PLC.

La electrónica es la rama de la ciencia dedicada al estudio y utilización del movimiento, la emisión y el comportamiento de corrientes de energía eléctrica en gases, vacío, semiconductores y conductores, no debe confundirse con la electricidad, que trata más directamente con la conducción de grandes corrientes en metales.<sup>[3]</sup> Esta rama se divide en dos áreas principalmente, la electrónica analógica que trabaja con cantidades continuas en el tiempo y la electrónica digital que trata con cantidades discretas o discontinuas en el tiempo.

Las cantidades digitales tienen ciertas ventajas sobre las analógicas en aplicaciones electrónicas. Una de ellas es que pueden procesarse y transmitirse más confiable y eficientemente que los datos analógicos, otra es que estos datos son más fáciles de almacenar.

La electrónica además de ser confiable se puede conjuntar con otras ramas de la física entre ellas la neumática.

### **2.1.1. Ubicación de la Neumática en la Física.**

Una vez analizado como se encuentra dividida la física, podemos decir que la neumática se encuentra ubicada en dos de las cinco áreas de que se compone esta ciencia.

Estas son en un primer plano la mecánica ya que la energía neumática se aplica principalmente como generadora de movimientos mediante diversos tipos de actuadores. En un segundo término implica también a la rama de la termodinámica, ya

---

<sup>[3]</sup> Graf Rudolf F. Diccionario moderno de electrónica. Tomo I Ed. Prentice Hall

que esta rama estudia como influye la temperatura en el estado de los diferentes cuerpos, y al trabajar la neumática con aire comprimido, esta rama juega un papel importante.

## 2.2. Fundamentos de Neumática:

La presión dominante en la superficie terrestre es denominada presión atmosférica ( $P_{amb}$ ) misma que se usa como punto de referencia, de tal suerte que la presión superior a esta se denominada sobrepresión ( $P_e > 0$ ), mientras que la presión inferior a ella se llama subpresión ( $P_e < 0$ ). La diferencia de presión  $P_e$  se calcula según la siguiente formula:

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

El siguiente diagrama ofrece una información detallada al respecto:

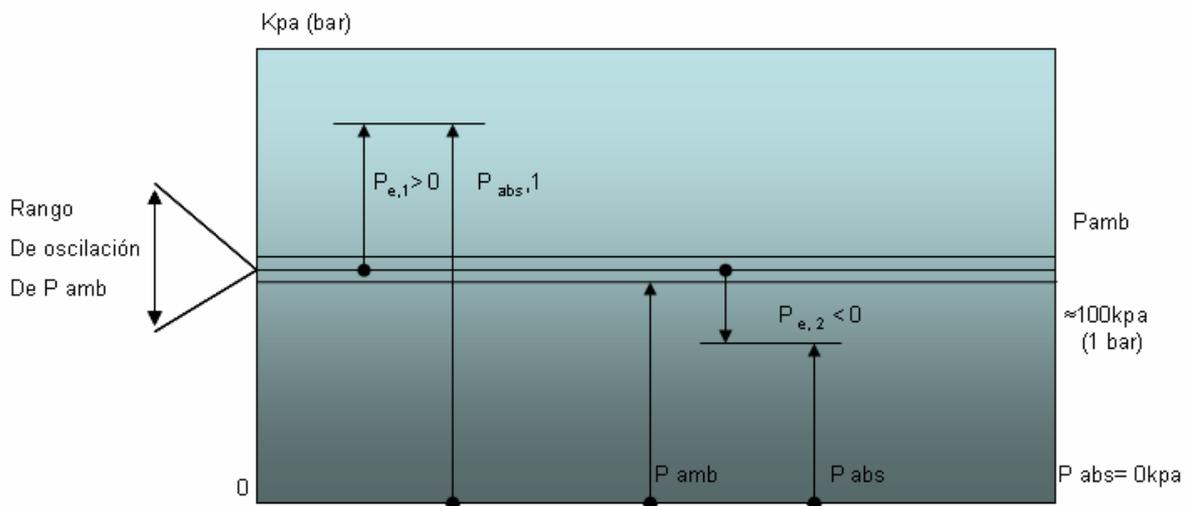


Figura 2.1 Presión de aire.

La presión atmosférica no es constante, su valor cambia según la ubicación geográfica y las condiciones meteorológicas.

La presión absoluta  $P_{abs}$  es el valor relacionado a la presión cero, es decir, en vacío. La presión absoluta es la suma de la presión atmosférica y la sobrepresión o subpresión. En la práctica suelen utilizarse sistemas de medición de la presión que sólo indican el valor de la sobrepresión  $P_e$ . El valor de la presión absoluta  $P_{abs}$  es más o menos 1 bar (100 kPa) más elevado.

### 2.2.1. Ley de Boyle-Mariotte.

Una característica en el aire, es la falta de cohesión de sus moléculas, es decir, la ausencia de una fuerza entre ellas, por lo tanto no tiene una forma definida y ocupa el volumen máximo disponible. [4].

El aire puede ser comprimido y tiene la tendencia a dilatarse. Esta característica es descrita por la ley Boyle-Mariotte: *“A temperatura constante los volúmenes de una misma masa gaseosa son inversamente proporcionales a las presiones a que se encuentra sometida”*.

Esto lo podemos ver más claramente en la siguiente figura:

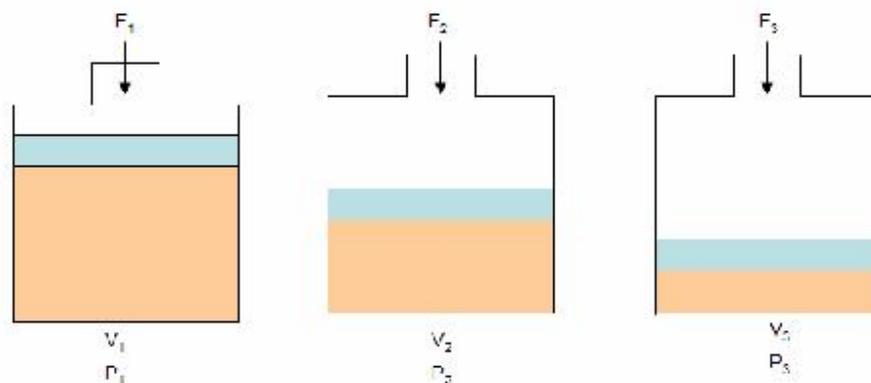


Figura 2.2 La ley de Boyle-Mariotte.

[4] Kraus Milton N Pneumatic Conveing of Bulk Materials Edit. Mac Graw hill

## 2.3. Dispositivos compresores de aire

### 2.3.1. Aire comprimido

Una característica importante del aire, es su compresibilidad, es decir, que podemos almacenar gran cantidad del mismo, en un acumulador proporcionalmente pequeño en relación a la cantidad de aire guardado, debido a esto y por efecto de la Ley de Boyle-Mariotte, aumenta considerablemente la presión que ejerce sobre las paredes del acumulador, y es precisamente esta presión la que nos sirve como fuente de energía en cuanto a neumática se refiere. [5].

El aire comprimido tiene las siguientes características:

- Puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias.
- El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Por lo tanto no es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio.
- Es insensible a las variaciones de temperatura, garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- No existe ningún riesgo de explosión ni incendio.
- Es limpio y, en caso de faltas de estanqueidad en elementos, no produce ningún ensuciamiento.
- Es un medio de trabajo muy rápido y por eso permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas.

### 2.3.2. Motocompresor.

Debido a que el aire pasa a través varios elementos antes de llegar a su punto de consumo dentro del circuito neumático; el tipo de compresor y su ubicación en el sistema interviene en la cantidad de partículas, aceite y agua incluidos en el sistema,

---

[5] Enrique Cancer Royo, Fundamentos de Neumática Editorial Paraninfo S.A.

para minimizar estas cantidades es recomendable que el compresor tenga los siguientes elementos:

- Filtro de aspiración
- Acumulador de aire a presión
- Secador
- Filtro de aire a presión con separador de agua
- Regulador de presión
- Lubricador
- Puntos de evacuación del condensado.

El aire que no ha sido acondicionado debidamente provoca un aumento de la cantidad de fallos tales como:

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

Los elementos neumáticos son concebidos, por lo general, para resistir una presión de 800 hasta 1000 kPa no obstante, para que el sistema funcione de manera económica, es suficiente aplicar una presión de 600 kPa dadas las resistencias que se oponen al flujo del aire en los diversos elementos, por ejemplo, en las zonas de estrangulación y en las tuberías, deberá contemplarse una pérdida de presión entre 10 y 50 kPa.

En consecuencia, el compresor debería generar por lo menos una presión de 650 hasta 700 kPa con el fin de mantener una presión de servicio de 600 kPa. [6].

---

[6] Enrique Cancero Royo, Fundamentos de Neumática Editorial Paraninfo S.A

La elección del compresor depende de la presión de trabajo y de la cantidad de aire necesaria.

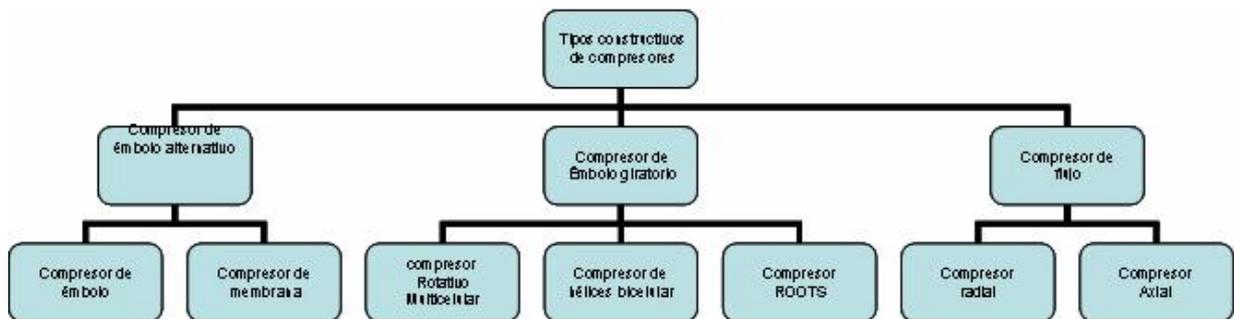


Figura 2.3: Tipos de compresores.

### 2.3.2.1. Partes del compresor

#### 2.3.2.1.1. Regulación

A fin de poder adaptar la cantidad suministrada del compresor a un consumo variable, se requiere una regulación del compresor. Entre los márgenes ajustables para la presión mínima y máxima se regula la cantidad suministrada. Existen diferentes tipos de regulación:

- Regulación en vacío
  - \*Regulación por purgado.
  - \*Regulación por cierre
  - \*Regulación por pinza
- Regulación de carga parcial
  - \*Regulación de velocidad
  - \*Regulación por aspiración estrangulada
- Regulación de todo o nada

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

Para obtener un nivel constante de la presión del aire se instalan reguladores de presión en la red de aire a presión con el fin de procurar la uniformidad de la presión en el sistema de alimentación de aire comprimido (presión secundaria), independientemente de las oscilaciones que surjan en el circuito principal (presión primaria).

En la práctica una presión de servicio es de:

- 600 kPa (6 bar) en la sección de operación.
- 400 kPa (4 bar) en la sección de mando.

### **2.3.2.1.2. Acumulador**

Para estabilizar el aire comprimido se coloca adicionalmente al compresor un acumulador, el cual equilibra las oscilaciones de la presión al extraer aire comprimido del sistema. Si en el acumulador cae la presión por debajo de un determinado valor, entonces el compresor lo llenará hasta alcanzar el valor superior de presión ajustado. Esto tiene la ventaja de que el compresor no tiene que trabajar en funcionamiento continuo.

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

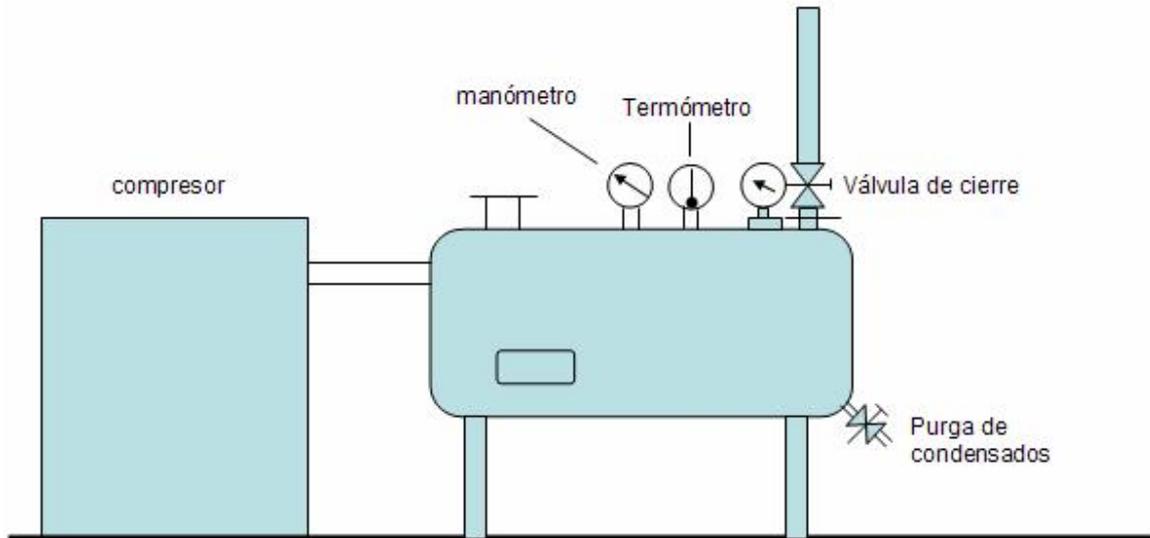


Figura 2.4 Acumulador.

El tamaño del acumulador depende de los siguientes criterios:

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

### 2.3.2.1.3. Secador de aire

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

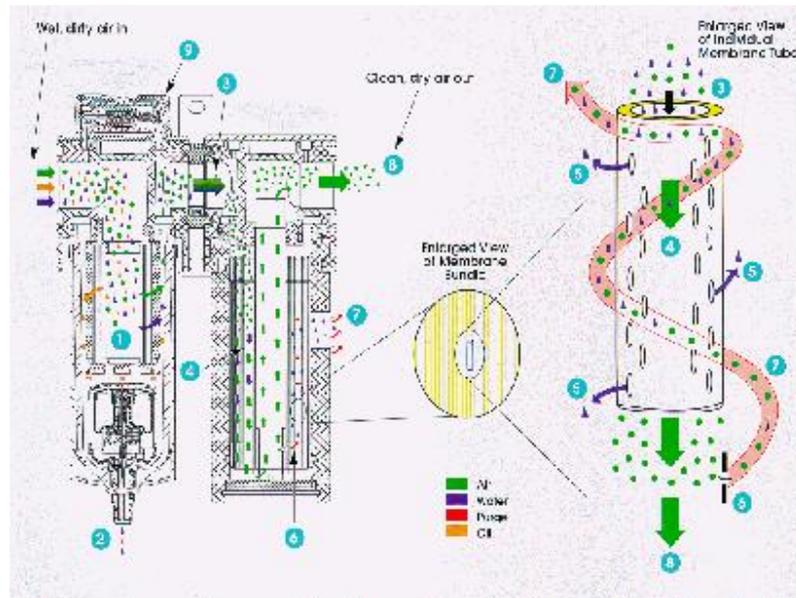


Figura2.5 Secador de aire tipo membrana.

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

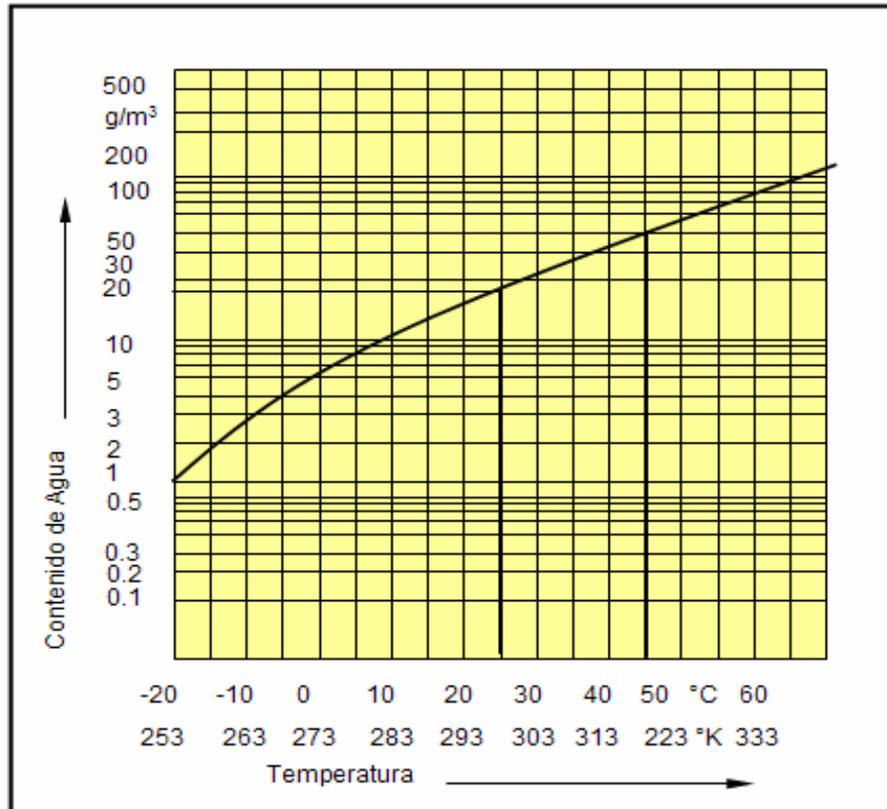
Si la relativa humedad del aire es indicada en tanto por ciento, es válida la siguiente formula:

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Humedad absoluta}}{\text{Cantidad saturada}} * 100 \%$$

Como la cantidad saturada depende de la temperatura, la humedad relativa cambia según la temperatura, incluso si la humedad absoluta permanece constante.

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

El aire comprimido con un contenido demasiado elevado de humedad reduce la vida útil de los sistemas neumáticos. En consecuencia es necesario instalar secadores de aire con el fin de reducir el contenido de humedad de aire.



Gráfica 2.1 Curva del punto de condensación

## 2.4. Sistema neumático

### 2.4.1. Distribución del aire

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

#### **2.4.1.1. Configuración de la red de tubos**

La configuración de la red de tuberías es de gran importancia para el funcionamiento económico del sistema, aparte de escoger las dimensiones correctas de los tubos y de optar por una buena calidad de los materiales empleados. El compresor suministra al sistema aire a presión en ciertos intervalos, por lo tanto es frecuente que el consumo de aire a presión aumente solo durante un breve plazo, esta circunstancia puede provocar condiciones desfavorables en la red de aire a presión, por ello es recomendable instalar un circuito anular principal de aire a presión, ya que de ese modo se obtiene un nivel de presión relativamente constante.

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

Las distintas funciones del acondicionamiento del aire a presión, filtrar, regular y lubricar pueden llevarse a cabo con elementos individuales. A menudo estas funciones se han unido en una unidad operativa denominada unidad de mantenimiento.

Por lo general la lubricación de aire a presión ya no es necesaria en las instalaciones modernas.

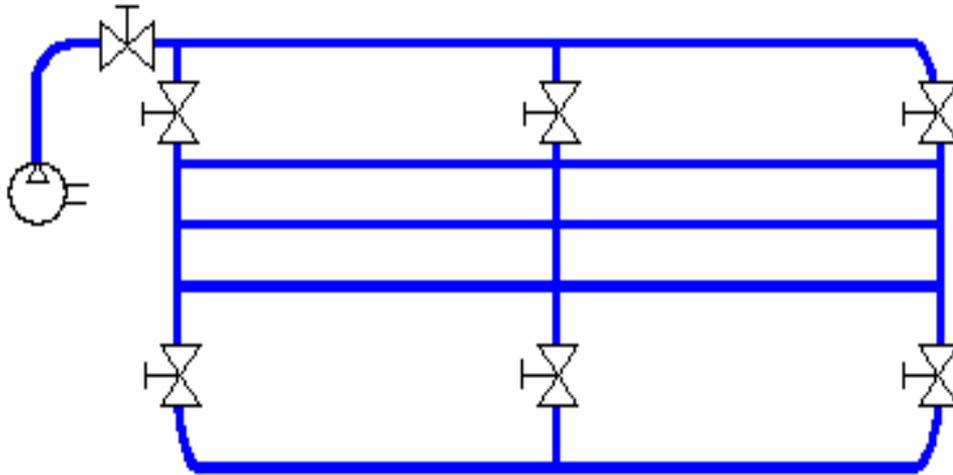


Figura 2.6 Configuración de una red de tubos.

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

## 2.5. Actuadores y dispositivos de salida.

Un actuador o elemento de trabajo transforma la energía termodinámica en trabajo. La señal de salida es controlada por el mando y el actuador reacciona a dicha señal por acción de los elementos de maniobra.

Los actuadores neumáticos pueden clasificarse en dos grupos según el movimiento: lineal (rectilíneo) o giratorio. <sup>[7]</sup>.

---

<sup>[7]</sup> Manuales de automatización de FESTO

### **2.5.1. Movimiento rectilíneo**

Este movimiento lineal accionado por energía neumática, es posible gracias a una gama de cilindros, estos según su funcionamiento y aplicación pueden ser de diferentes tipos como veremos a continuación.

#### **2.5.1.1. Estructura de los cilindros**

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

La camisa del cilindro suele ser en la mayoría de los casos de una sola pieza de acero estirado sin costura de soldadura.

Para ciertas aplicaciones, la camisa del cilindro también puede ser de aluminio, de latón o de tubo de acero con superficie interior cromada. Estas versiones especiales son utilizadas si se trata de cilindros que no son accionados con demasiada frecuencia o si están expuestos a corrosión.

Las culatas trasera y delantera suelen ser de material fundido (aluminio o fundición maleable).

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

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

Delante del casquillo de cojinete está situado el anillo rascador mediante el cual se evita que penetren partículas de polvo o de suciedad en la cámara del cilindro.

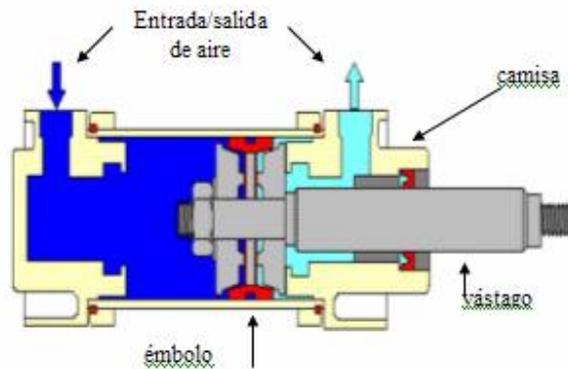


Figura 2.7 Partes de un cilindro.

## 2.5.1.2. Tipos de cilindros.

### 2.5.1.2.1. Cilindros de simple efecto.

Los cilindros de simple efecto reciben aire a presión sólo en un lado. Estos cilindros únicamente pueden ejecutar el trabajo en un sentido.

La fuerza del muelle hace retroceder el vástago del cilindro a suficiente velocidad, pero sin que el cilindro pueda soportar una carga.

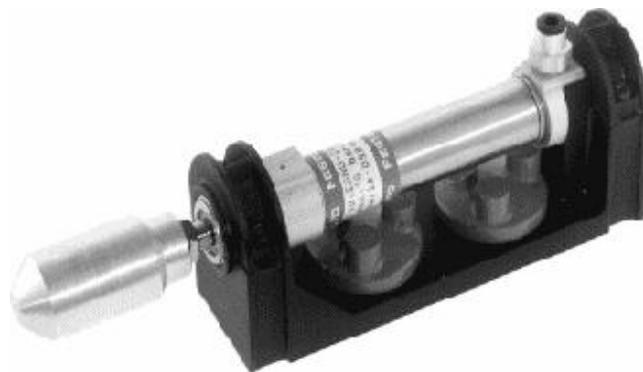


Figura 2.8 Cilindro de simple efecto.

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

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

- Entregar
- Bufiricar
- Juntar
- Accionar
- Fijar
- Expulsar

Los cilindros de simple efecto están equipados con una junta simple en el lado sometido a presión. Los bordes de la junta se deslizan a lo largo de la camisa del cilindro cuando éste ejecuta los movimientos.

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

- Cilindros de membrana
- Cilindros de membrana enrollable

En los primeros, una membrana de goma, de plástico o de metal hace las veces de émbolo. El vástago está fijo en el centro de la membrana. Los cilindros de carrera corta son utilizados para ejecutar trabajos de fijación, prensado y elevación.

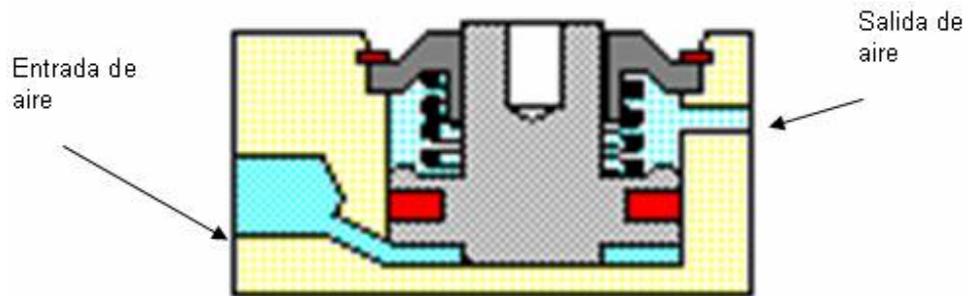


Figura 2.9 Composición interna del Cilindro de membrana.

#### 2.5.1.2.2. Cilindro de doble efecto

El diseño de estos cilindros es similar al de los cilindros de simple efecto. No obstante, los cilindros de doble efecto no llevan muelle de reposición y, además, las dos conexiones son utilizadas correspondientemente para la alimentación y la evacuación del aire a presión.

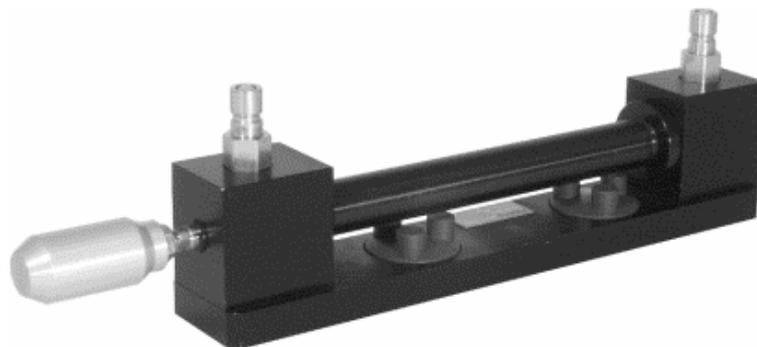


Figura 2.10 Cilindro de doble efecto.

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

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

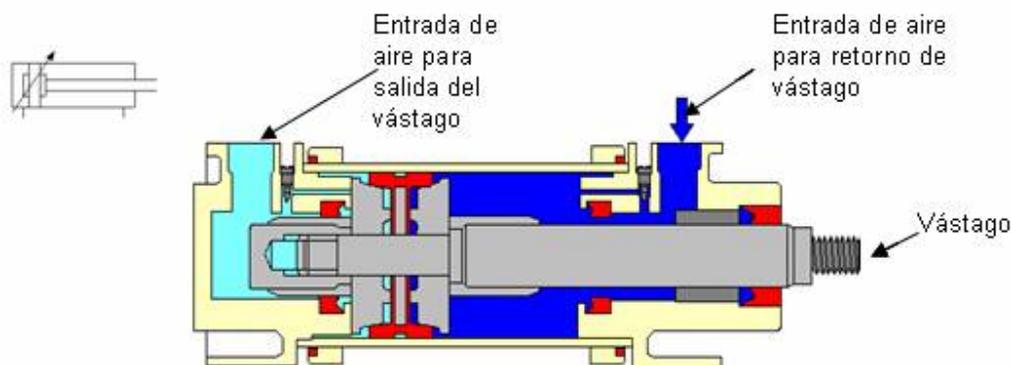


Figura 2.11 Cilindro de doble efecto con amortiguación de final de carrera.

Si el cilindro tiene la función de mover grandes masas, los amortiguadores de final de carrera se encargan de evitar un golpe seco y, por tanto, un daño de los cilindros. Un émbolo amortiguador interrumpe la evacuación directa del aire antes de que el cilindro llegue a su posición de final de carrera.

En vez de ello, queda abierta una salida pequeña que por lo general es regulable. Si las fuerzas son muy elevadas y si la aceleración es considerable, deberán adoptarse medidas adicionales para solucionar el problema.

### 2.5.1.2.3 Cilindro Tandem

Se trata de un conjunto de dos cilindros de doble efecto. Su diseño y la aplicación simultánea de presión en ambos émbolos permite que se duplique la fuerza del vástago, es decir, que en lugar de que solo una entrada de aire empuje un émbolo, hay dos entradas de aire que empujan émbolos diferentes, lo que en consecuencia aumenta la fuerza de salida del vástago.

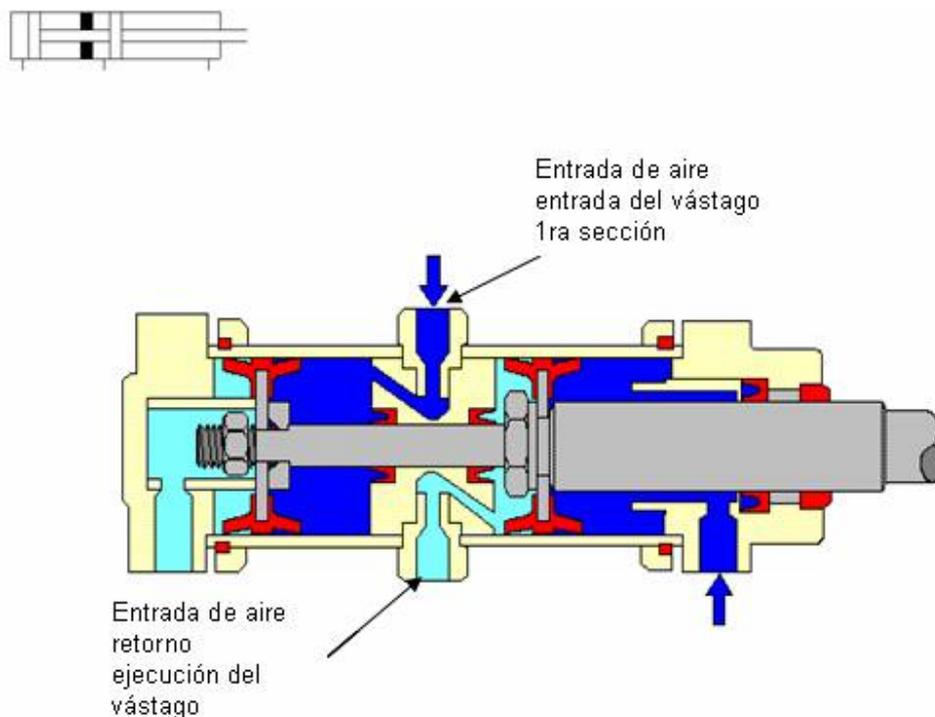


Figura2.12 Cilindro Tandem.

### 2.5.1.2.4. Cilindro con vástago continuo

Este cilindro tiene hacia ambos lados un vástago continuo. La guía del vástago es mejor, ya que dispone de dos cojinetes. En ambos sentidos de movimiento la fuerza es igual de potente.

El vástago continuo puede ser hueco. De este modo puede aplicarse para el paso de distintos medios, como el aire a presión. También es posible una conexión de vacío.

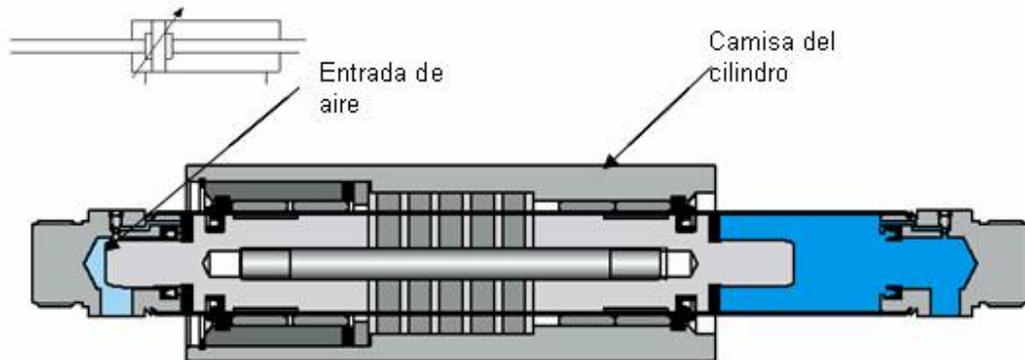


Figura 2.13 Cilindro con vástago continuo.

#### 2.5.1.2.5. Cilindros multiposicionales

El cilindro multiposicional está compuesto de dos o más cilindros de doble efecto. Los cilindros están unidos entre sí. De esta manera con dos cilindros de distinta carrera se obtienen cuatro posiciones.



Figura 2.14 Cilindro multiposicional.

### 2.5.1.3 Propiedades de los cilindros

El rendimiento de un cilindro puede ser calculado teóricamente o recurriendo a los datos ofrecidos por el fabricante.

#### 2.5.1.3.1 Fuerza del émbolo

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

$$F_{te} = A * p$$

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

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

$P$  = Presión de trabajo (Pa)

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

#### 2.5.1.3.2 Carrera del vástago

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

---

[8] Librería de información Fluid Sim 2000

Las carreras demasiado largas significan un esfuerzo demasiado grande para el vástago y el cojinete guía así como la posibilidad de pandeo.

### 2.5.1.3.3 Velocidad del émbolo

La velocidad del émbolo de los cilindros neumáticos depende de la contrafuerza, de la presión de aire, de la longitud de los conductos, de la sección entre la unidad de maniobra y del trabajo y además, del caudal de la válvula de maniobra.

La velocidad media de los émbolos de cilindros estándar oscila entre aproximadamente 0.1 y 1.5 m/s con cilindros especiales (cilindros de impacto) pueden alcanzarse velocidades de hasta 10 m/s.

### 2.5.1.3.4 Consumo de aire

Para conocer los detalles relacionados con la alimentación de aire a presión y para calcular los costos respectivos, es importante saber cuanto aire consume la red neumática.

En valores determinados para la presión de aire, el diámetro del émbolo, la carrera, número de carreras por minuto, y el consumo de aire puede calcularse de la siguiente manera:

Consumo de aire = Relación De compresión \* Superficie del émbolo \* Carrera \* Número de carreras por minuto.

$$\text{Relación de compresión} = \frac{101,3 + \text{Presión de trabajo (en kPa)}}{101,3}$$

Para cilindros de simple efecto:

$$q_B = s * n * q_h$$

Para cilindros de doble efecto:

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

Donde:

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

$s$  = Carrera (cm)

$n$  = Número de carreras por minuto (1/min)

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

Del consumo total de aire de un cilindro forma parte también el llenado de los espacios muertos. El consumo de aire para el llenado de los espacios vacíos puede significar hasta el 20% del consumo de aire de trabajo. [9].

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

Tabla 2.2 Espacios muertos de cilindros (1000 cm<sup>3</sup> =1)/1

[9][http://www.norgren.com/document\\_resources/PDF\\_links/product\\_literature/brochures/airline/es\\_clean\\_compressed\\_air.pdf](http://www.norgren.com/document_resources/PDF_links/product_literature/brochures/airline/es_clean_compressed_air.pdf)

## 2.5.2 Movimiento giratorio

Los equipos que transforman energía neumática en movimientos giratorios mecánicos que pueden ser continuos, se llaman motores neumáticos, los cuales son clasificados en función de su diseño:

- Motores de émbolos
- Motores de aletas
- Motores de engranajes
- Turbinas

### 2.5.2.1 Motores de émbolos

Este tipo de motores se clasifica en motores radiales y axiales. El movimiento del émbolo tiene como consecuencia que el aire a presión actúe sobre una biela, la que a su vez actúa sobre el cigüeñal.

La potencia de los motores depende de la presión de entrada, de la cantidad de cilindros, de la superficie de los émbolos y de la velocidad de éstos.

Los motores axiales funcionan de modo parecido a los motores radiales de émbolos. Dos émbolos reciben simultáneamente presión con el fin de conseguir un par de giro equilibrado para que el motor trabaje homogéneamente.

Estos motores neumáticos pueden girar en ambos sentidos. El régimen de revoluciones máximo es de aproximadamente 5000 rpm siendo el campo de potencia de 1,5 hasta 19 kW(2-25 PS)

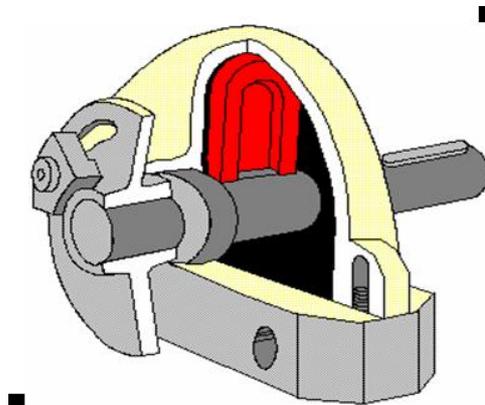


Figura 2.15 Motor neumático.

### 2.5.2.2 Motores de aletas

Los motores neumáticos suelen ser fabricados en la versión de motores rotativos con aletas, porque pesan poco y su diseño es sencillo.

En una cámara cilíndrica se encuentra un rotor excéntrico. Dicho rotor está provisto de ranuras. Las aletas son guiadas por las ranuras y presionadas hacia la camisa del cilindro por efecto de la fuerza centrífuga. En otros tipos la colocación de las aletas se consigue mediante flexión, de este modo, las cámaras quedan separadas herméticamente, el régimen de revoluciones del rotor oscila entre 3000 y 8500 rpm. Estos motores también pueden ser de giro hacia la derecha o hacia la izquierda y su potencia es regulable entre 0.1 hasta 17 kW.

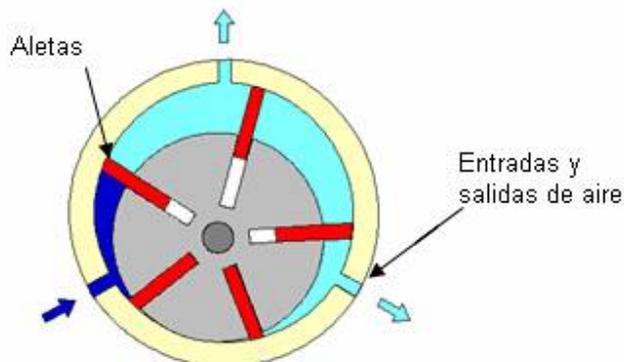


Figura 2.16 Funcionamiento interno de un motor de aletas.

## 2.6 Indicadores

Los indicadores luminosos muestran el estado de servicio de un sistema neumático y son utilizados para efectuar el diagnostico de fallos.

Existen los siguientes tipos:

- Contadores para la indicación de ciclos de conteo
- Manómetros para la indicación de las presiones
- Trasmisores de tiempo con indicación visual del tiempo de retardo
- Transmisores de señales ópticas.

Los diversos colores de los transmisores de señales ópticas tienen un significado específico relacionado al estado operativo de un mando.

En concordancia con la norma CIN VDE 0113, los colores de los transmisores de señales ópticas son los siguientes. [10].

Color	Significado	Observaciones
Rojo	Parada, desconexión	Estado de máquinas o equipos , que exige la adopción inmediata de medidas
Amarillo	Intervención	Modificación realizada o a punto de realizarse en las condiciones de servicio
Verde	Marcha, disponible	Funcionamiento norma, estado seguro
Azul	Cualquiera	Cualquier significado que no pueda expresarse mediante los colores rojo,

[10][http://www.norgren.com/document\\_resources/PDF\\_links/product\\_literature/brochures/airline/es\\_clean\\_compressed\\_air.pdf](http://www.norgren.com/document_resources/PDF_links/product_literature/brochures/airline/es_clean_compressed_air.pdf)

		amarillo o verde
Blanco incolore	o Ninguno en especial	Sin significado especial, puede utilizarse en aquellos casos en los que no sea posible utilizar rojo, amarillo ni verde.

Tabla 2.3 Indicadores luminosos

## 2.7 Válvulas

Las válvulas de vías son dispositivos que influyen en el “paso”, el “bloqueo” y la “dirección” de flujo del aire.

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

La posición normal de una válvula es aquella que se refiere al estado en el que se encuentran las piezas móviles de la válvula montada en el sistema neumático cuando se conecta la alimentación de presión de la red neumática o, eléctrica. <sup>[11]</sup>.

### 2.7.1 Tipos de válvulas

#### 2.7.1.1 Válvulas de cierre

Las Válvulas de cierre bloquean el paso en una dirección y lo abren en dirección contraria.

---

<sup>[11]</sup> Manuales de Automatización de FESTO

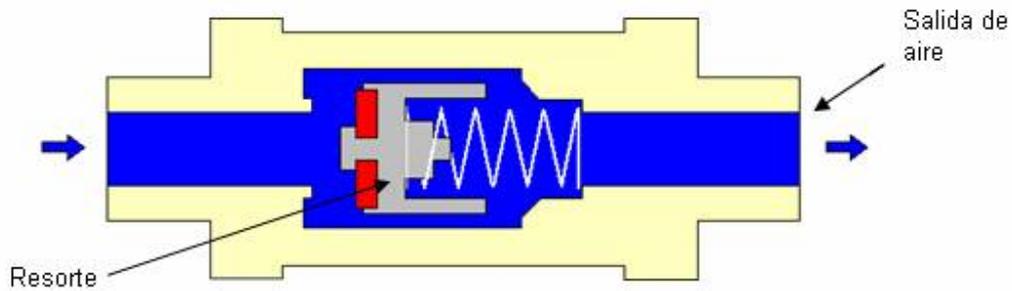


Figura 2.17 Válvula de cierre.

### 2.7.1.2 Válvulas antirretorno

Las válvulas de antirretorno pueden bloquear totalmente el paso en un sentido mientras que en sentido contrario pasa el aire con un mínimo de pérdida de presión

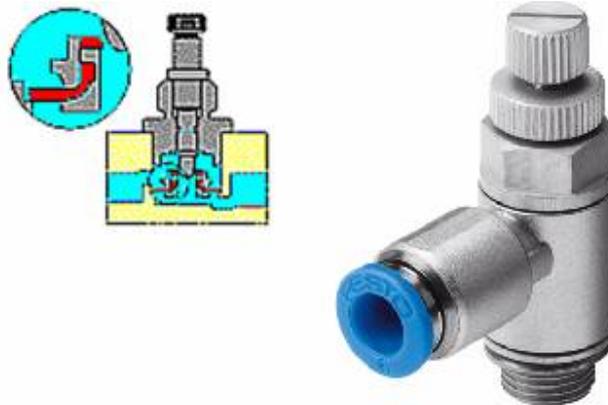


Figura 2.18 Válvula antirretorno.

#### 2.7.1.2.1 Válvulas o elementos de unión

Los elementos que tienen las mismas propiedades que una válvula de antirretorno pueden ser utilizados como uniones entre dos conductos transmisores de señales con el fin de controlarlas.

La válvula de simultaneidad emite una señal solamente si recibe una señal en ambas entradas (función Y); la válvula selectora transmite en por lo menos una entrada (función O)

- Válvula de simultaneidad función lógica Y
- Válvulas de caudal y bloqueo O

### 2.7.1.2.1.1 Válvula de simultaneidad

La válvula de simultaneidad tiene dos entradas, X y Y, y una salida A. El paso solamente está abierto si recibe una señal en ambas entradas. Una señal de entrada en X y Y bloquea el paso a raíz de la diferencia de fuerzas en la corredera del cilindro. Si las señales de entrada no son recibidas simultáneamente, la última señal que llega pasa a la salida. Si las señales de entrada tienen una presión más grande cierra la válvula, con lo que la presión más pequeña pasa la salida A. La válvula de simultaneidad es utilizada principalmente en mandos de bloqueo, funciones de control o enlaces lógicos. [12].

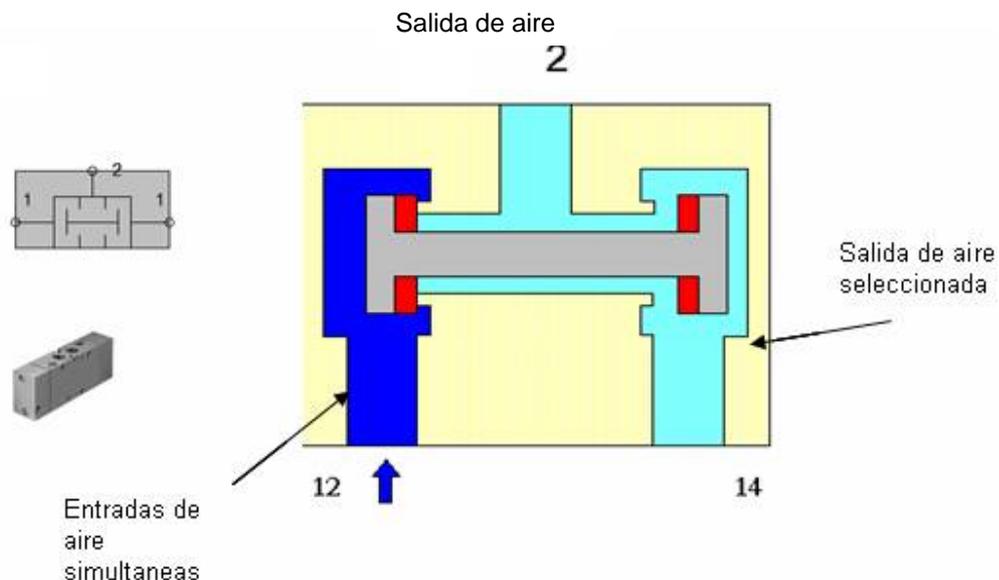


Figura 2.19 Válvula de simultaneidad: Función Y.

[12]<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica14.htm>

**2.7.1.2.1.2 Válvula selectora**

Estas válvulas de cierre tienen dos entradas, X y Y, y una salida A. Si la entrada X recibe presión, el émbolo cierra la entrada Y, con lo que el aire pasa de X hacia A. Si el aire pasa de Y hacia A, queda bloqueada la entrada X. Cuando se produce un reflujó de aire del cilindro o de la válvula instalada detrás, el émbolo mantiene su posición anterior debido a las presiones existentes en ese caso. Esta válvula también es denominada elemento "O". Si un cilindro o una válvula de mando debe accionarse desde dos o más lugares, siempre deberán utilizarse una o varias válvulas selectoras.

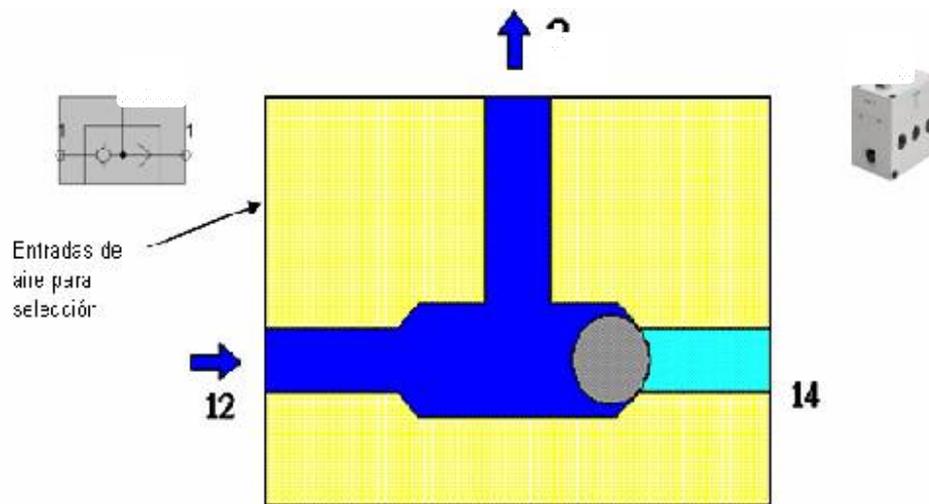


Figura 2.20 Válvula electora: función O.

El siguiente esquema muestra el mando de un cilindro a través de dos válvulas manuales que pueden estar instaladas a diferentes distancias del cilindro. Si se activara la válvula 1.2 sin la aplicación de la válvula selectora, el aire a presión pasaría principalmente a través de la conexión 2 (R) de la válvula 1.4.

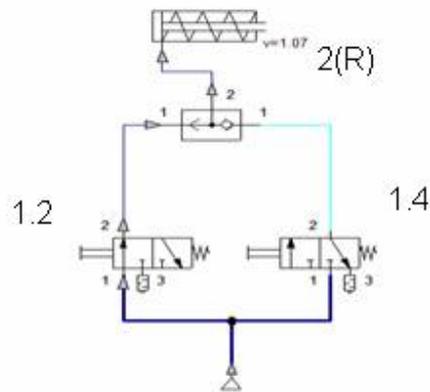


Figura 2.21 Accionamiento de un cilindro con dos transmisores de señales.

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

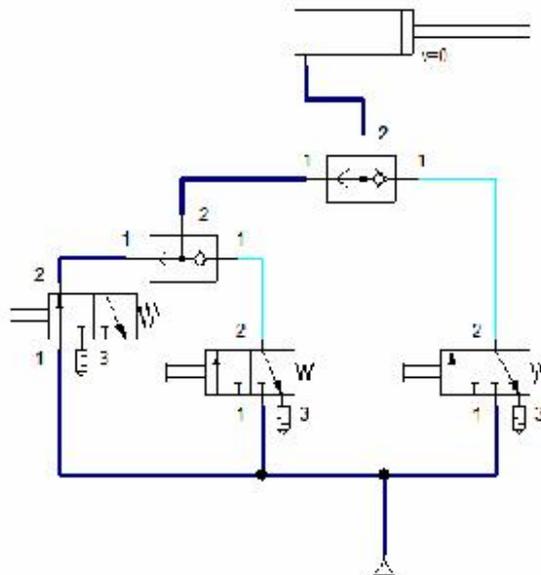


Figura 2.22 Accionamiento de un cilindro con tres transmisores de señales.

### 2.7.1.3 Válvula de escape rápido

Las válvulas de escape rápido tienen la finalidad de aumentar la velocidad de los cilindros. Con ellas se puede reducir el tiempo de retroceso demasiado prolongado, especialmente tratándose de cilindros de simple efecto. De esta manera es posible que el vástago de un cilindro retroceda casi a velocidad máxima, ya que la resistencia del aire desplazado es disminuida porque dicho aire es evacuado a través de la válvula de escape rápido.

El aire evacuado puede salir de inmediato hacia afuera sin tener que recorrer distancias largas a través de los conductos de mando hasta llegar a la válvula de mando. Es recomendable que las válvulas de escape rápido sean instaladas lo más cerca posible de los cilindros respectivos.



Figura 2.23 Válvula de escape rápido, evacuación de aire.

#### 2.7.1.4 Válvulas de llave

Como válvulas de llave se denominan las válvulas que abren o cierran el paso sin escalonamiento en ambas direcciones. Ejemplo de ellos son el grifo de cierre y el grifo de macho esférico.



*Figura 2.24 Válvula de grifo.*

#### 2.7.1.5 Válvulas de caudal

Las válvulas de caudal regulan el paso del aire a presión en ambas direcciones. La válvula de estrangulación es una válvula de caudal.



*Figura 2.25 Válvula de caudal en ambas direcciones.*

### 2.7.1.6 Válvula de estrangulación: estrangulación en ambas direcciones

Las válvulas de estrangulación suelen ser regulables. El ajuste correspondiente puede ser fijado. Las válvulas de estrangulación son utilizadas para controlar la velocidad de los cilindros. Deberá ponerse cuidado en que la válvula de estrangulación nunca esté cerrada del todo.

*Características constructivas de las válvulas de estrangulación:*

\* Válvula de estrangulación: —→ La zona de estrangulación es más larga que su diámetro.

\* Válvula de diafragma: —→ La zona de estrangulación es más corta que su diámetro.



Figura 2.26 Válvula de estrangulación en ambas direcciones.

### 2.7.1.7 Válvulas de estrangulación y antirretorno

La válvula de estrangulación y antirretorno reduce el caudal de aire solamente en un sentido. La válvula de antirretorno cierra el paso del aire en un sentido y el aire sólo puede pasar a través de la sección regulada. Estas válvulas son utilizadas para regular la velocidad de cilindros neumáticos.



*Figura 2.27 Válvula de estrangulación y antirretorno.*

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

- Estrangulación de la entrada de aire
- Estrangulación de la salida de aire

En el caso de la estrangulación del aire de alimentación se reduce el flujo de aire hacia el cilindro. Cualquier oscilación de la carga que actúa sobre el cilindro, por mínima que sea, provoca considerables oscilaciones de la velocidad de avance.

### 2.7.1.8 Válvulas de presión

Las válvulas de presión son elementos que se encargan de regular la presión o que son controladas por la presión. Estas pueden ser:

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

Estas válvulas son utilizadas para mantener una presión constante, incluso si oscilase la presión en la red neumática. La presión mínima de entrada tiene que ser mayor que la presión de salida.



*Figura 2.28 Válvula reguladora de presión.*

### 2.7.1.9 Válvulas limitadoras de presión

Estas válvulas son utilizadas principalmente como válvulas de seguridad (válvulas de sobrepresión), ya que evitan que la presión en el sistema sea mayor que la presión máxima admisible. Una vez que la presión aplicada a la entrada de válvula de seguridad

llega a la presión máxima que se ha ajustado en dicha válvula, se abre la salida, con lo que el aire es descargado hacia la atmósfera. [13].

### 2.7.2 Tipos de accionamiento de válvulas

Los tipos de accionamiento de las válvulas empleadas en neumática, pueden ser de diversos tipos, hay que recordar que en cada tipo de accionamiento, lo único que cambia es el método en que se hará conmutar a la válvula, sin que esto cambie de ninguna manera la aplicación para la cual es empleada.

Los tipos de accionamiento pueden ser:

- **Manual:** cuando la conmutación es accionada mediante un botón operado directamente por el usuario. *Fig. 2.29 a)*
- **Mecánico:** cuando la conmutación se acciona mediante el uso de algún dispositivo tal como una leva, un juego de engranes o poleas, u otro de este tipo, siendo el mas común el muelle. *Fig. 2.29 b)*
- **Neumático:** en este accionamiento el vástago de la válvula es empujado mediante el uso de una presión producida por aire comprimido. *Fig. 2.29 c)*
- **Electromagnético:** este es el tipo de accionamiento más empleado, ya que por su naturaleza, es posible conmutar la válvula mediante el uso de tecnología tal como un PLC. *Fig. 2.29 d)*

Es en este último tipo de accionamiento es en donde nos concentraremos un poco más, este es posible gracias a el uso de un solenoide, el cual mediante energía eléctrica crea un campo magnético, la polaridad de este campo, depende de la polaridad del circuito eléctrico, de tal manera que al conmutar la polaridad del circuito eléctrico, cambia también la del magnético, de esta manera una pieza de material ferromagnético, ubicada en el centro del solenoide, es empujada o retraída según la

---

[13]<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica14.htm>

polaridad que se este empleando, este núcleo se encuentra acoplado al vástago de la válvula, lo que la hace conmutar.

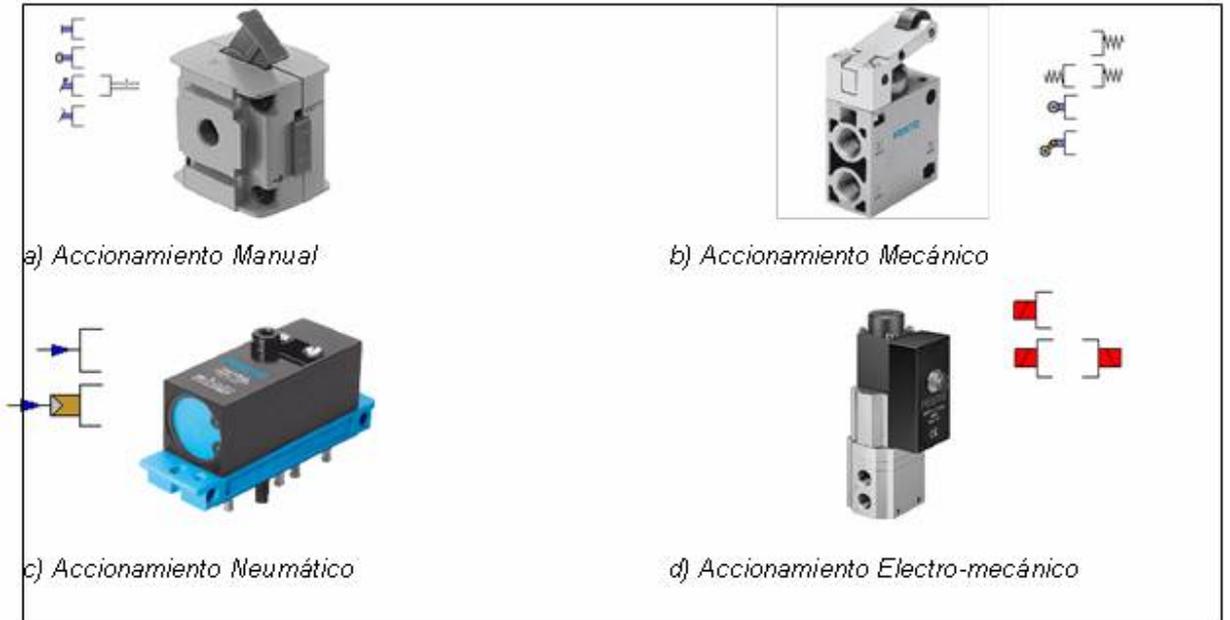


Figura 2.29 Representación de diversos tipos de accionamientos.

## Capítulo 3

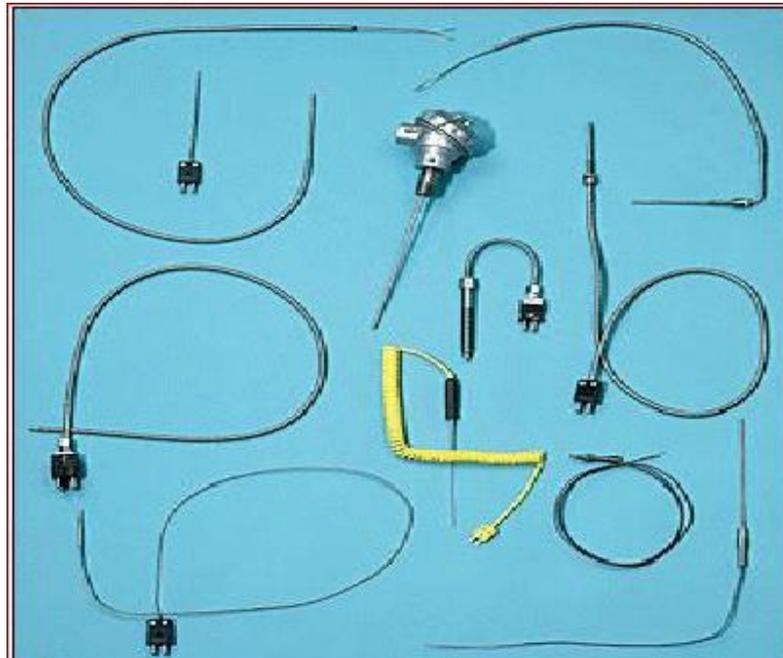
### Principios de instrumentación

#### 3.1 Transductores

La instrumentación electrónica se aplica en el sensado y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

Los transductores se utilizan para recoger información sobre el estado de un sistema y para suministrar esta información al control. En los sistemas electroneumáticos, los transductores se utilizan principalmente para las siguientes tareas:

- Medición y supervisión de las presiones y temperaturas del fluido a presión
- Detección de la proximidad, es decir, de la posición o de la posiciones finales de los actuadores



*Figura 3.1 Existen gran variedad de transductores*

### **3.1.1 Tipos de transductores**

Los sistemas integrados cuya finalidad es medir magnitudes físicas de un sistema externo, elaborar la información asociada a ellas y presentarla a un operador.

Las características por las que la tecnología electrónica es la más utilizada por los sistemas de instrumentación son:

1. Las señales eléctricas permiten manejar señales en un rango dinámico de tiempos muy amplios, desde los picosegundos hasta horas.
2. Las señales eléctricas pueden ser transmitidas muy fácilmente a través de cables metálicos, sistemas radiados, o fibra óptica.
3. Las señales eléctricas pueden ser amplificadas por circuitos electrónicos de forma muy eficientes, y pueden manejarse rangos de señal muy amplios, desde los nanovolts hasta los kilovolts.
4. El sistema electrónico permite complejas transformaciones funcionales de las señales eléctricas.
5. Las señales eléctricas son las más apropiadas para ser introducidas en las computadoras, las cuales representan el medio más potente de registro, transformación y presentación de la información.
6. La tecnología electrónica actual es la que presenta mejor relación entre prestaciones y costo.

### **3.1.2 Clasificación de los transductores**

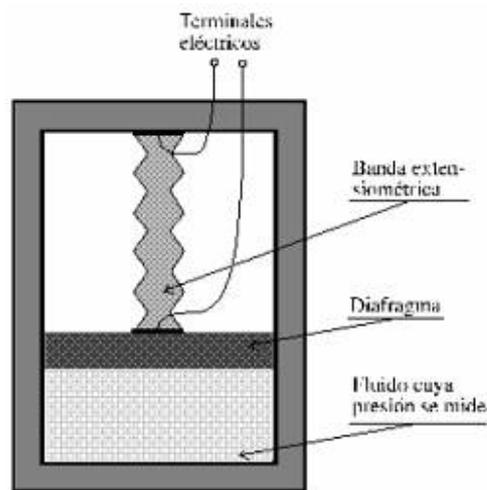
Los aparatos electrónicos para música o sonido se pueden clasificar en los siguientes grupos: generadores, procesadores, grabadores, reproductores y transductores. Cada uno de ellos tiene una misión determinada: los generadores producen un sonido, los procesadores lo modifican, los grabadores lo almacenan en un medio determinado para su posterior reproducción.

Lo que tienen todos en común, es que operan o producen sonido no como onda de presión, sino como una representación de esta en forma de fluctuación de tensión eléctrica. El enlace entre ambas se realiza mediante transductores [1].

El transductor por lo tanto se define como el componente que convierte la magnitud física a medir, en una señal eléctrica.

**Ejemplo:**

Un transductor de presión se puede construir con una membrana a la que se une una galga extensiométrica (resistencia cuyo valor depende de su deformación). En este caso, el diafragma es el transductor.



Transductor de presión

Figura 3.2 Transductor de presión.

[1]Manuales de automatización Festo “Electro hidráulica”

**Los transductores se suelen clasificar en dos grupos:**

Los transductores **activos**: son dispositivos que generan energía eléctrica por conversión de energía procedente del sistema sobre el que mide. Los transductores activos no necesitan fuente de alimentación para poder operar.

Los transductores **pasivos**: son aquellos en los que no se produce conversión de energía. Algún parámetro del transductor es función de la magnitud que se mide y las variaciones de este parámetro son utilizadas para modular la energía eléctrica procedente de una fuente que en este caso se necesita [2].

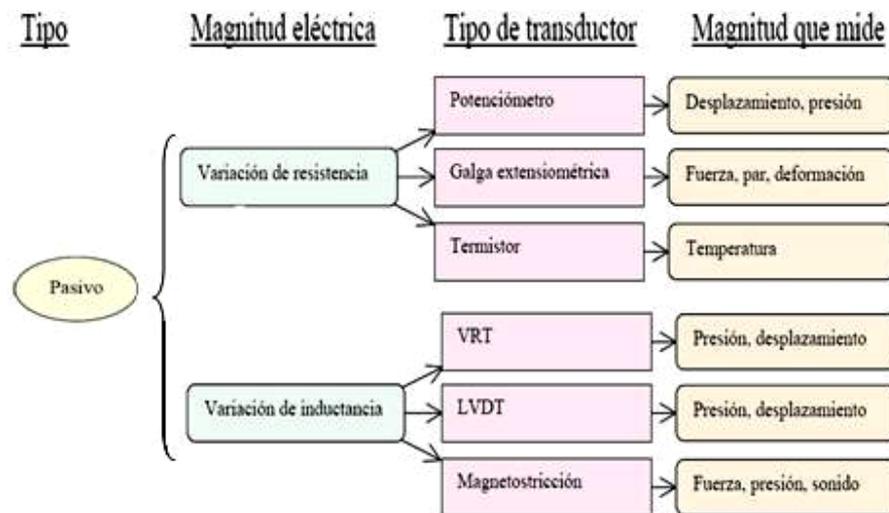


Figura 3.3: Esquema de transductores

**3.1.2.1 Transductores de proximidad inductivos.**

Un transductor de proximidad inductivo consiste en un circuito oscilante, una etapa de disparo y un amplificador. Cuando se aplica tensión a las terminales, el circuito

[2] Presentaciones de automatización Festo

oscilante genera un campo electromagnético de alta frecuencia que se emite en la cara frontal del transductor de proximidad. Si se introduce un buen conductor eléctrico en el campo magnético oscilante, la oscilación se ve amortiguada. La etapa de disparo detecta este cambio en la oscilación y activa una salida a través de un amplificador.

Los transductores de proximidad inductivos se caracterizan por las siguientes propiedades:

- Todos los materiales con una buena conductividad eléctrica son reconocidos por los transductores de proximidad inductivos. Su funcionamiento no está restringido a los materiales magnetizables o a los metales; por ejemplo, también reconocen el grafito.
- Los objetos pueden detectarse estáticos o en movimientos
- Los objetos con una gran superficie en relación con la superficie del transductor, se reconocen con más facilidad.
- Se utilizan principalmente como transductores digitales.

## **3.2 Relés y contactores**

La representación simbólica de relés y contactores en el esquema eléctrico es idéntica a su principio de funcionamiento.

- Los relés se utilizan para cargas relativamente pequeñas.
- Los contactores para cargas relativamente elevadas.

### **3.2.1. Relé.**

Los relés son interruptores accionados electromagnéticamente y constan de una carcasa con un electroimán y contactos móviles. Cuando se aplica una tensión a la bobina del electroimán, se genera un campo electromagnético. Esto produce la atracción de la armadura móvil hacia el núcleo de la bobina, la armadura arrastra el

conjunto de contactos. El bloqueo de contactos puede abrir o cerrar determinado número de circuitos por medios mecánicos. Al interrumpir el flujo de corriente por la bobina, un muelle devuelve la armadura a su posición original.

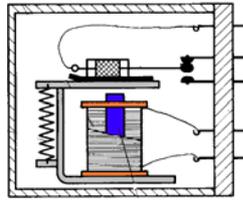


Figura 3.4 Esquema interno de un Relé.<sup>[3]</sup>

### 3.2.1.1 Aplicaciones

Hay varios tipos de relé como los temporizadores y contadores. Los cuales pueden utilizarse para varias funciones:

- Como interfaces entre circuitos de control y circuitos de carga,
- Para multiplicación de señales
- Para separación de circuitos de corriente alterna y de corriente continua
- Para retrasar, generar y convertir señales y
- Para el enlace de información

### 3.2.1.2 Designaciones de los terminales y símbolos en los circuitos

Dependiendo de su diseño, los relés poseen diferentes cantidades de contactos normalmente cerrados, normalmente abiertos, conmutadores, o contactos de acción retardada

- Los relés se designan con K1, K2, K3 etc.
- Los terminales de la bobina se designan con A1 y A2
- Los contactos accionados por los relés también son designados como K1, K2, sucesivamente en los esquemas.<sup>[4]</sup>

---

<sup>[3]</sup> Manuales de automatización Mitsubishi.

### 3.3 EI PLC

Todas las maquinas o sistemas automáticos tienen un control. Dependiendo del tipo de tecnología utilizada, los controles pueden dividirse en neumáticos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos. Con frecuencia se utiliza una combinación de las diferentes tecnologías. Además debe distinguirse entre controles con lógica cableada, es decir, conexión física de componentes electromecánicos o lógica programable, por ejemplo el controlador lógico programable.

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

Esta función ha acuñado el nombre de PLC: Control Lógico Programable. En él, el comportamiento de las entradas/salidas es similar al de los controles realizados con relés electromagnéticos o con elementos lógicos neumáticos o electrónicos; la diferencia reside en que el programa en lugar de estar “cableado” está almacenado en una memoria electrónica.

#### 3.3.1 Definición básica de un PLC

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

*“Un sistema electrónico de funcionamiento digital, diseñado para ser utilizado en un entorno industrial, que utiliza una memoria programable para el almacenamiento interno*

---

<sup>[4]</sup> Manuales de automatización Festo controladores lógicos programables 2004

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

Por lo tanto, un control lógico programable es sencillamente una computadora, adaptada específicamente para ciertas tareas de control.

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

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

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

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

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

### **3.3.2 Estándar para PLC. IEC 1311**

A finales de los sesenta, se plantearon en Europa algunos estándares válidos para la programación de PLC's, enfocados principalmente al estado de la tecnología en aquel momento. Tenían en cuenta sistemas de PLC no interconectados, que realizaban operaciones lógicas con señales binarias. DIN 19 239, por ejemplo, especifica un lenguaje de programación que posee las correspondientes instrucciones para estas aplicaciones.

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

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

El nuevo estándar IEC 1131 consta de cinco partes:

- Parte 1: Información general.
- Parte 2: Requerimientos y verificaciones del equipo

- Parte 3: Lenguajes de programación
- Parte 4: Directrices para el usuario
- Parte 5: Especificación del servicio de mensajes

Las partes 1 a 3 de este estándar se adoptaron sin enmiendas como el estándar Europeo EN 61 131, Partes 1 a 3

La finalidad del nuevo estándar era definir y estandarizar el diseño y funcionalidad de un PLC y los lenguajes requeridos para la programación hasta un grado en el que los usuarios pudieran hacer funcionar sin ninguna dificultad los diferentes sistemas de PLC de los distintos fabricantes.

Características de este estándar:

- El nuevo estándar tiene en cuenta la mayoría de aspectos posibles en relación con el diseño, aplicación y utilización de sistemas PLC
- Las amplias especificaciones sirven para definir sistemas de PLC abiertos y estandarizados.
- Los fabricantes deben ajustarse a las especificaciones de este estándar, tanto en el aspecto puramente técnico de los requerimientos de un PLC como en lo que se refiere a la programación de tales controles.
- Todas las variaciones deben ser completamente documentadas para el usuario.

Tras unas reticencias iniciales, se ha formado un grupo relativamente grande de personas interesadas (PLC open) para apoyar este estándar. La mayoría de los principales proveedores de PLC son miembros de la asociación es decir, Allen Bradley, Klocker-Moeller, Philips, para mencionar algunos. Otros fabricantes de PLC como Siemens o Mitsubishi también ofrecen controles y sistemas de programación conformes con IEC-1131.

Los sistemas de programación iniciales ya están disponibles en el mercado y otros están siendo desarrollados. Sin embargo, la norma tiene una buena oportunidad de aceptación y de éxito. <sup>[5]</sup>

### **3.3.4 Fundamentos de un PLC**

#### **3.3.4.1 Generación de señales digitales y binarias**

Todas las computadoras, y por lo tanto todos los PLC's, funcionan utilizando señales digitales o binarias. Por binario, entendemos una señal que sólo reconoce dos valores definidos.

Estos valores se les llama "0" ó "1", aunque también se utilizan los términos "bajo" y "alto" respectivamente. Las señales pueden realizarse muy fácilmente con componentes de contactos. Un contacto activado corresponde a una señal de lógica 1 y uno sin activar a una de lógica 0. Cuando se trabaja con elementos sin contacto, esto puede forzar unos ciertos márgenes de tolerancia. Por esta razón, hay que definir ciertos márgenes de tensión para definirlos como lógica 0 ó lógica 1.

IEC 1131-2 define un margen de valores de -3 V a 5 V como señal de lógica 0, y de 11 V a 30 V como señal de lógica 1. Esto es de obligado cumplimiento para PLC's cuya tecnología deba seguir la norma IEC 1131-2. En la práctica existen tensiones muy parecidas para lógica 0 y lógica 1 ampliamente usadas son: -30 V a +5V para lógica 0 y +13 V a +30 V para lógica 1. <sup>[5]</sup>

A diferencia de las señales binarias, las señales digitales pueden asumir cualquier valor. Se les conoce también como etapas de valor. Así, una señal digital se define por cualquier cantidad de etapas de valor. El cambio entre estas etapas no es secuencial.

---

<sup>[5]</sup> Manuales de automatización Festo controladores lógicos programables 2004

Las señales digitales pueden formarse a partir de señales analógicas. Este método se utiliza, por ejemplo, para el procesamiento analógico a través de un PLC. Consecuentemente, una señal de entrada analógica en el margen de 0 a 10 V se reduce a una serie de etapas de valores. Dependiendo de la calidad del PLC y de la resolución, la señal digital será capaz de operar en etapas de valores de mejor escala. Naturalmente, en este caso se seleccionaría el margen más pequeño para poder reproducir la señal analógica con la mayor precisión posible.

Un ejemplo simple de una señal analógica es la presión, que se mide y se visualiza en un manómetro. La señal de presión puede asumir cualquier valor intermedio entre sus valores mínimo y máximo. A diferencia de la señal digital, cambia continuamente. En el caso del procesamiento de valores analógicos a través de un PLC, como se ha descrito, las señales analógicas de tensión se evalúan y se convierten.

Por otra parte, las señales digitales pueden formarse reuniendo un cierto número de señales binarias. De esta forma, con ocho señales binarias es posible generar una señal digital con 256 valores.

#### **3.3.4.2 Funciones lógicas básicas**

Como se ha descrito en el punto anterior, cualquier computadora e igualmente cualquier PLC, funcionan utilizando el sistema de numeración de base 2. Esto se aplica también a los sistemas octal ( $2^3$ ) y hexadecimal ( $2^4$ ) por ello, las variables individuales pueden asumir sólo dos valores, "0" ó "1". Se utilizan unas matemáticas especiales para poder enlazar las relaciones entre variables –la denominada álgebra de Boole.– Los enlaces entre variables también pueden representarse claramente por medio de contactos eléctricos.

**Función NOT, negación:** El pulsador mostrado representa un contacto normalmente cerrado.

***Función AND. Conjunción:*** Si dos contactos abiertos se conectan en serie con un indicador luminoso, este último sólo se iluminará si ambos contactos están físicamente accionados.

***Función OR, disyunción:*** Otra función lógica básica es la función OR (O). Si dos contactos normalmente abiertos se conectan en paralelo, el indicador luminoso enciende siempre que por menos uno de los contactos se halle físicamente accionado.

### **3.3.5 Programación y modo de funcionamiento de un PLC.**

El diseño del componente y como se debe conectar es esencial por lo que se deben tomar en cuenta los siguientes Factores:

#### **3.3.5.1 Estructura de un PLC**

En las computadoras, generalmente se distingue entre (hardware), (firmware) y (software). Los mismos se aplican a los PLC's, ya que esencialmente también están basados en un microprocesador.

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

El (firmware) los constituyen aquellos programas (software) que se hallan permanentemente instalados en el (hardware) de la computadora y que son suministrados por el fabricante del PLC (Figura 3.5). Esto incluye las rutinas fundamentales del sistema, utilizadas para poner en marcha el procesador al aplicar la tensión. Adicionalmente, se cuenta con el sistema operativo que, en el caso de los controles lógicos programables, generalmente se halla almacenado en una memoria ROM de sólo lectura o en una EPROM.

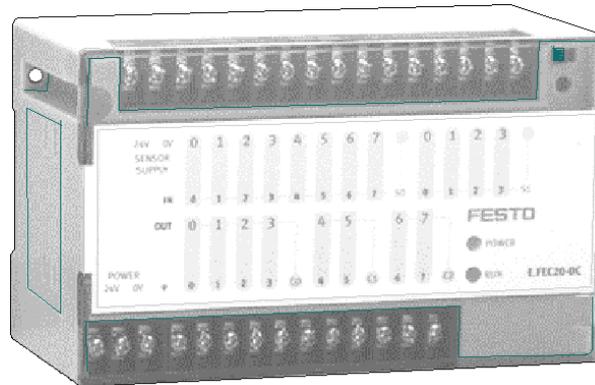


Figura 3.5 PLC serie fec 20 de FESTO 12 entradas 8 salidas a relevador.

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

El (hardware) del PLC ó como es el caso de casi todos los sistemas microcontroladores actuales está basado en un sistema de bus. Un sistema de bus es un determinado número de líneas eléctricas divididas en líneas de direcciones, de datos y de control. La línea de direcciones se utiliza para seleccionar la dirección de un elemento conectado al bus y la línea de datos para transmitir la información requerida. Las líneas de control son necesarias para habilitar el dispositivo conectando el bus como emisor o como receptor.

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

Según la estructura del PLC, los módulos de entradas y salidas se conectan a un simple bus común o a un bus externo de E/S especialmente en el caso de grandes sistemas modulares de PLC, es más usual un bus externo de E/S

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

### **3.3.5.2 Unidad Central de un PLC**

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

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

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

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

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

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

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

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

Los sistemas microprocesadores convencionales de hoy en día funcionan según el denominado “principio de Von-Neumann”. Según este principio, la computadora procesa el programa lineal. En términos sencillos, podríamos decir que cada línea del programa de usuario del PLC es procesada secuencialmente.

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

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

- Recogida de la orden desde la memoria de programa.
- Ejecución de la orden

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

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

Los programas para el procesamiento convencional de datos, generalmente se procesan una vez y terminan. A diferencia de estos, el programa de un PLC se procesado continua y cíclicamente.

Las características del procesamiento cíclico son:

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

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

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

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

- Las señales de entrada de una duración interior al tiempo de ciclo, posiblemente no serán reconocidas.
- En algunos casos, puede haber un retardo de dos ciclos entre la presencia de una entrada y la deseada reacción de una salida ante esta señal.
- Dado que las instrucciones se procesan secuencialmente, el comportamiento específico de la secuencia de un programa de PLC puede ser crucial.
- En algunas aplicaciones, es esencial que pueda accederse directamente a entradas y salidas durante un ciclo. Por ello, este tipo de procesamiento de programa, saltándose la imagen del proceso, también es posible en algunos sistemas PLC.
- Los programas específicamente desarrollados para determinadas aplicaciones requieren una memoria de programas, de la cual pueden ser leídos por la unidad central. Los requerimientos para tal memoria de programa son relativamente simples de formular:
  - Debería ser lo muy sencilla de modificar, de crear o almacenar nuevos programas con la ayuda de un dispositivo programador o una computadora.
  - Debe haber mecanismos que aseguren que el programa no pueda perderse incluso ante un fallo de tensión o por tensiones de interferencia.
  - La memoria de programa debe ser económica
  - La memoria de programa debería ser suficientemente rápida para no retardar el funcionamiento de la unidad central.

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

- RAM
- EPROM
- EEPROM

### **3.3.5.3 Memoria RAM**

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

### **3.3.5.4 Memoria EPROM**

La EPROM (erasable programmable read-only memory) memoria de solo lectura, programmable y borrable, también es una memoria rápida y de bajo costo y, en comparación con la RAM tiene la ventaja añadida de que no es volátil, es decir, es permanente. Por ello, el contenido de la memoria permanece inalterable incluso ante un fallo de tensión.

### **3.3.5.5 Memoria EEPROM**

La EEPROM (electrically erasable programmable ROM) ROM programable y borrable eléctricamente, y la EAROM (electrically aterable ROM) ROM alterable eléctricamente o las flash EPROM han sido utilizadas desde hace algún tiempo. La EEPROM es especial, es ampliamente utilizada como memoria de aplicación en PLC's. Es una memoria borrable eléctricamente, que puede reescribirse.

### **3.3.5.6 Módulo de entradas**

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

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

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

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

Dependiendo del fabricante del PLC, se asegura una detección fiable de la señal por medio un detector de umbral adicional a los correspondientes de diodos y optoacopladores. Los datos precisos en relación con las señales a detectar reespecifican en DIN 19240.

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

Esto necesita que a la señal de entrada sea aplicada un periodo de tiempo suficientemente largo, antes de que sea reconocida como una señal de entrada, dado que, debido a su naturaleza inductiva, los impulsos de referencia son principalmente

señales transitorias, es suficiente un retardo de la señal de entrada relativamente corto, del orden de milisegundos, para filtrar la mayor parte de los impulsos parásitos.

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

Cuando se conectan transductores a las entradas del PLC deben distinguirse entre conexiones de conmutación positiva y de conmutación negativa. En otras palabras, hay que distinguir entre entrada que representan un consumo de corriente o una fuente de corriente. En Alemania, por ejemplo, se utilizan principalmente las conexiones de conmutación positiva, ya que ello permite la utilización de una tierra de protección. Conmutación positiva significa que la entrada del PLC representa un drenaje de corriente. El transductor suministra la tensión de funcionamiento o tensión de control a la entrada en forma de señal.

Si se utiliza tierra de protección, la tensión de salida del transductor es cortocircuitada hacia los 0 voltios o se funde el fusible en caso de cortocircuito en la línea de señal. Esto significa que se aplica una lógica 0 en la entrada del PLC (figura 3.6).

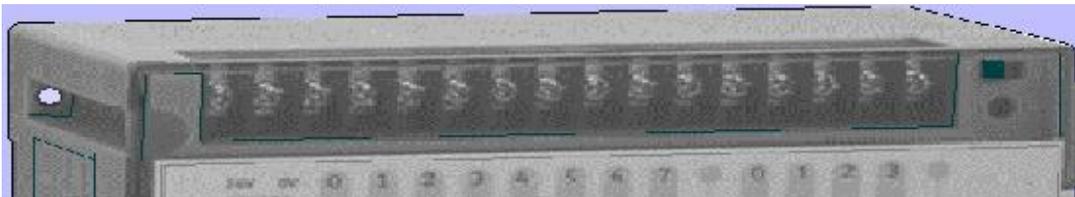


Figura 3.6 Módulo de entradas.

### 3.3.5.7 Módulo de salida

Los módulos de salida llevan las señales de la unidad central a los elementos finales de control, que son activados según la tarea. Principalmente la función de una salida vista desde la aplicación del PLC (figura 3.7) incluye lo siguiente:

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

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

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

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

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

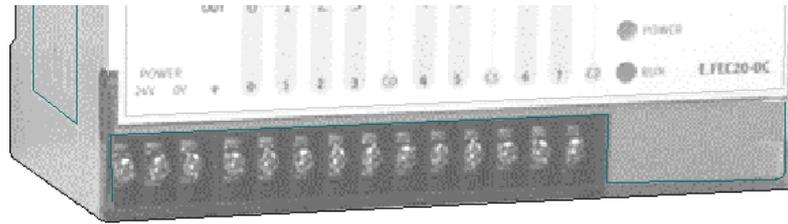


Figura 3.7 Módulo de salidas.

La potencia admisible de salida se utiliza específicamente de forma que permita una distinción entre la potencia admisible de una salida y la potencia acumulada admisible de un módulo de salidas. La potencia acumulada de un módulo de salidas es siempre considerablemente inferior a la suma total de la potencia de cada salida, ya que los transistores de potencia se transmiten el calor unos a otros.

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

Las salidas por relé, tienen la ventaja de que pueden utilizarse para diferentes tensiones de salida. En contraste, las salidas electrónicas tienen velocidades de conmutación considerablemente más elevadas y una vida útil más larga que la de los relés. En muchos casos, la potencia de relés muy pequeños utilizados en los PLC's, corresponde a la de las etapas de potencia de las salidas electrónicas.

En el caso de un cortocircuito de la línea de señal de salida a tierra, la salida se cortocircuita si se utiliza medidas normales de puesta a tierra de protección, la electrónica conmuta a protección de cortocircuito o se funde el fusible, es decir, el

dispositivo consumidor no puede drenar corriente por lo que se desconecta y queda en estado seguro.

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

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

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

Estas herramientas de programación y diagnóstico son o bien dispositivos de programación específicos del fabricante o computadoras personales con su (software) correspondiente. Actualmente, estas últimas son casi exclusivamente las variantes preferidas, ya que la enorme capacidad de las computadoras, combinada con su comparativamente bajo costo inicial y alta flexibilidad, representa ventajas cruciales.

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

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

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

- Introducción y programas. Creación y modificación de programas en uno de los lenguajes de programación del un PLC.
- Verificación de la sintaxis. Comprobación de la sintaxis del programa y los datos, minimizando así la introducción de programas defectuosos.
- Traductor. Traducción del programa introducido en un programa que puede ser leído y procesado por el PLC, es decir, la generación del código máquina del correspondiente PC.
- Conexión entre PLC y computadora. A través de este enlace se realiza la carga de los programas al PLC y la ejecución de funciones de verificación.
- Función de verificación. Ayuda al usuario durante la escritura y en la eliminación de fallos y verificación a través de:
  - Una verificación del estado de las entradas, salidas. Temporizadores, contadores, etc.
  - Verificación de secuencias de programa por medio de operaciones de paso a paso, ordenes de (STOP), etc.
  - Simulación por medio de activación manual de entrada/salidas, establecimiento de valores, etc.
- Indicación del estado de sistemas de control. Emisión de información relacionada con la máquina, proceso y estado del sistema PLC.
  - Indicación del estado de señales de entrada y salidas.
  - Registro/ indicación de cambios de estado en señales externas y datos internos.
  - Supervisión de los tiempos de ejecución.

- Formato en tiempo real de la ejecución del programa.
- Documentación. Creación de una descripción del sistema PLC y el programa del usuario. Esto consiste en:
  - Descripción de la configuración del (hardware).
  - Impresión del programa de usuario con los correspondientes datos e identificaciones para las señales y comentarios.
  - Lista de referencias cruzadas para todos los datos procesados tales como entradas, salidas, temporizadores, etc.
  - Descripción de las modificaciones.
- Archivado del programa de usuario. Protección del programa de usuario en memorias no volátiles tales como EPROM, etc.

### **3.3.6 Programación de un PLC**

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

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

- Libres de errores,
- Fáciles de mantener y
- Económicos.

#### **3.3.6.1 Diagrama de contactos ó escalera**

El lenguaje de diagrama de contactos (o diagrama en escalera), al igual que el diagrama de bloques de función representa un lenguaje de programación gráfico. Los elementos disponibles en un diagrama de contactos son los contactos y las bobinas en diferentes formas. Estas están dispuestas en renglones (rungs) entre las dos líneas verticales de mando a derecha e izquierda.

Un contacto normalmente abierto suministra el valor 1 cuando se activa el accionamiento del correspondiente interruptor. Un contacto normalmente cerrado reacciona correspondientemente con el valor 1, cuando no se activa el correspondiente interruptor o pulsador.

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

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

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

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

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

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

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

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

Un requisito previo para la incorporación de las denominadas unidades de organización, es la disponibilidad de por lo menos una entrada booleana y una salida booleana del bloque en cuestión. Si no es este el caso, la entrada booleana con el parámetro formal EN (enable/ habilitación) se añade a las correspondientes funciones o módulos de función, así como una salida booleana ENO (enable ok/ habilitación correcta). Las entradas / salidas booleanas son necesarias para permitir que la potencia fluya a través del bloque.

Los módulos de función, tales como por ejemplo el retardo de señal mostrado no pueden incorporarse al diagrama de contactos sin una entrada EN adicional ni una salida ENO. El bloque de función es conectado con los elemento del renglón actual en la forma usual con la entrada booleana IN y la salida booleana Q. Si la entrada asume el valor 1, la copia del bloque de función es procesada con la duración de tiempo preestablecida de 7 segundos.

De forma similar al lenguaje de programación gráfico FBD, el flujo de potencia, y como tal el procesamiento de una unidad de organización del programa, es de izquierda a derecha y de arriba abajo. De forma similar la secuencia de procesamiento también puede cambiar en LD utilizando elementos para el control de la ejecución.

Si la condición del salto, en este caso la operación AND de la entrada se cumple, se ejecuta un salto al renglón actual con el identificador variable, el procesamiento continua entonces a partir de este renglón. (Figura 3.8)

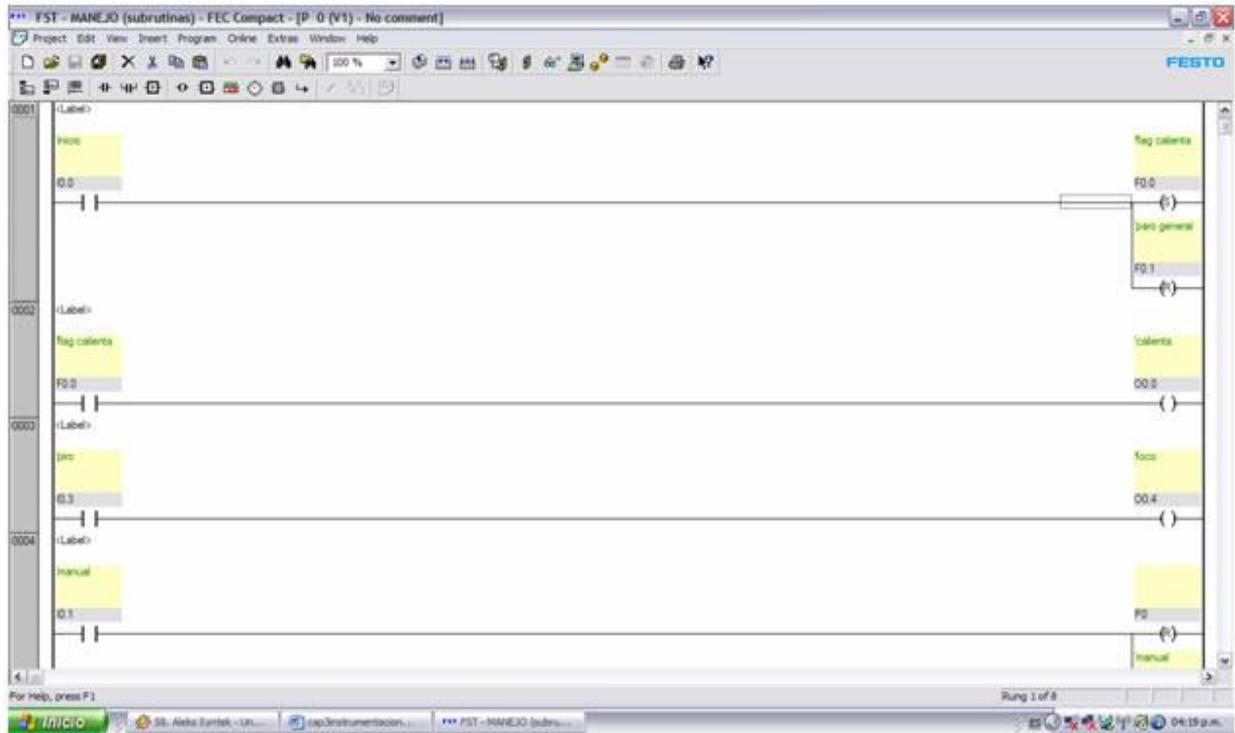


Figura 3.8 Diagrama escalera desarrollado en el programa FST de festo.

### 3.3.6.2 Lista de instrucciones

La lista de instrucciones es un lenguaje de programación textual, tipo ensamblador (assembler). Sus instrucciones son más cercanas a las órdenes procesadas en un PLC (figura 3.8).

Un programa de control formulado en lenguaje de lista de instrucciones consiste en una serie de instrucciones, en las que cada una se inicia en una nueva línea.

En la formulación de una instrucción se especifica un formato fijo. Una instrucción empieza con un operador con modificador opcional y, si es necesario para la operación en cuestión, uno o varios operandos, separados por comas. Las instrucciones pueden ser precedidas por una etiqueta seguida de dos puntos. La etiqueta actúa como una

dirección de salto. Las etiquetas son idénticas de la misma forma que los símbolos. Si se utiliza un comentario, este debe representar el último elemento de la línea. Un comentario se inicia con la cadena (\*, y termina con la cadena\*)

Los operadores no están enlazados con ninguna prioridad. Consecuentemente, las operaciones se procesan en la secuencia en la cual se introducen en la lista de instrucciones. Si se desea una secuencia diferente, esta puede conseguirse con el uso de paréntesis.

En esta lista de instrucciones, también el uso de funciones y bloque de función es ilimitado. Las funciones para tareas típicas de tecnología de control, tales como la lógica booleana u operaciones aritméticas se realizan directamente a través de los operandos especificados en la tabla.

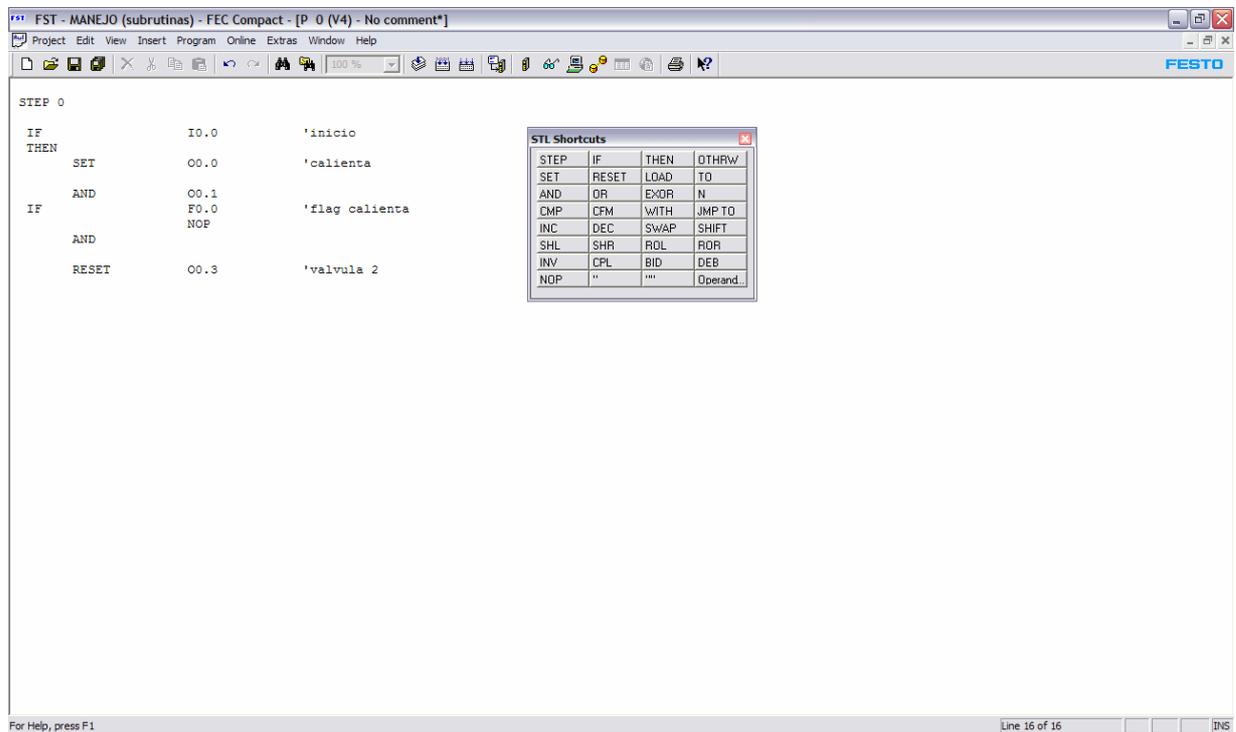


Figura 3.9 Programa en listado de instrucciones desarrollado en el programa FST de festo.

### **3.3.6.3 Puesta a punto y seguridad funcional de un PLC**

#### **3.3.6.3.1 Puesta a punto**

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

Incluso durante la puesta a punto, a menudo son necesarios los cambios en el programa. La puesta a punto de un sistema puede dividirse básicamente en cuatro etapas:

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

##### **3.3.6.3.1.1 Verificación del (hardware)**

Cada transductor se conecta a una entrada específica y cada actuador a una salida; las direcciones no deben mezclarse.

Esta es la razón por la que el primer paso en la verificación del (hardware) siempre debe hacerse tras la lista de asignaciones verificando que estén todos los transductores y actuadores asignados a las direcciones de entrada y salida correctas. Posteriormente se identifica inequívocamente la función señal 0 y señal 1.

La lista de asignaciones debe corregirse y completarse ya que forma parte de la documentación antes de la puesta a punto de un programa.

Durante la verificación las salidas se activan para comprobarlas. Los actuadores deben cumplir con las funciones especificadas.

#### **3.3.6.3.1.2 Transferencia y pruebas del (software)**

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

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

Tras esto, las partes individuales del programa y las funciones del sistema se verifican, (funcionamiento mañuela, ajuste, programas de supervisión individuales, etc.), y finalmente la interacción de las partes del programa con la ayuda de todo el conjunto.

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

#### **3.3.6.3.1.3 Optimización del (software)**

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

#### **3.3.6.3.1.4 Puesta en marcha del sistema**

Esto ya se produce en parte durante la fase de optimización y verificación. Una vez que el estado final del programa PLC y la documentación han sido establecidos, hay que ejecutar de nuevo todas las funciones del control de acuerdo con la tarea.

Debe distinguirse entre la tensión de control (tensión de las señales entre la máquina controlada y el PLC) y la tensión de la lógica (tensión de alimentación interna de la unidad central de control).

El nivel de tensión de funcionamiento de un PLC está especificado en DIN IEC 1131/Parte 2. Se halla entre 24 VDC y 48 VDC ó 48 VAC y 220 VAC respectivamente. Para el mercado americano también puede utilizarse 120 VAC.

#### **3.3.6.3.1.5 Tensión de control**

La tensión de control alimenta a los transductores y actuadores. Para ello el usuario debe conectar una fuente de alimentación al control. La tensión de control de un PLC es generalmente de 24 VDC ó 230 VAC. Principalmente se utiliza corriente continua. La potencia de la fuente de alimentación depende el control utilizado y de las entradas/salidas conectadas.

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

#### **3.3.6.3.1.6 Tensión de la lógica**

Además, un PLC requiere una alimentación para la lógica interna, para las señales en la unidad central. Dado que la tensión de la lógica debe cumplir con exigencias muy estrictas debe estar estabilizada. Se utilizan o bien 5 V (nivel TTL) ó 10 V (nivel CMOS), dependiendo del módulo a través del cual se realiza la unidad central de control.

Hay tres posibilidades de tensión de alimentación:

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

#### **3.3.6.3.1.7 Supresión de interferencias**

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

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

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

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

Cuando se trata de Interferencias en la línea desde y hacia transductores y actuadores, los pulsos de interferencia en las líneas eléctricas pueden producir falsas señales 1 ó 0 en las entradas de los PLC's, que no corresponden a las emitidas por los transductores. Estas señales pueden generarse por efecto de otros cables.

Este tipo de interferencias es peligrosa, por ello, como norma, los módulos de entrada de un PLC están protegidos por medio de optoacopladores conectados en serie y por un retardo de las señales. El optoacoplador protege contra tensiones de hasta 5000 V aproximadamente.

El retardo de la señal evita señales espúreas, ya que estas generalmente son muy breves. El retardo puede oscilar entre 1 y 20 ms según el tipo de PLC. Los módulos de entrada de "Alta velocidad" (sin señal de retardo) deben apantallarse, por ejemplo por medio de cables blindados.

Los módulos de salida contienen también un optoacoplador para protección contra sobretensiones. Además, las salidas están protegidas ante cortocircuitos muy prolongados.

#### **3.3.6.3.1.8 Tensión inducida**

Cuando se corta la tensión que alimenta a una carga inductiva (una bobina de una electroválvula) se crea una tensión inducida en la bobina. Esta tensión inducida, que puede alcanzar valores muy altos, debe eliminarse para proteger el módulo de salida. Para ello se utiliza un diodo supresor. Los módulos de salida de muchos PLC's ya están provistos de diodos supresores de este tipo. Sin embargo, en este caso, la tensión residual se convierte en un factor de interferencia en los cables de interconexión. Por ello deben tomarse medidas protectoras directamente en el punto de origen, es decir, en la bobina, por medio de un diodo supresor (sólo para corriente continua) o por medio de un varistor (resistencia que depende de la tensión), también pueden utilizarse en paralelo con la bobina dos diodos zener polarizados inversamente. Sin embargo, para tensiones que sobrepasen los 150 V, deben conectarse en serie varios diodos.

#### **3.3.6.3.1.9 Paro de emergencia**

Si se acciona el paro de emergencia, es esencial llegar a la situación que sea menos peligrosa, tanto para las personas como para el sistema. Los elementos finales de control y los actuadores que pudieran provocar situaciones peligrosas, deben desconectarse inmediatamente. Por el contrario, los elementos de control finales y los actuadores que podrían provocar situaciones peligrosas a las personas o al sistema cuando se desactivan, deberán seguir activados incluso en un sistema automatizado, en cualquier momento debe disponerse de la posibilidad de accionar el paro de emergencia.

Esta es la razón por la que los controles electrónicos no deben asumir la función de paro de emergencia. El circuito de paro de emergencia debe ser establecido independientemente del PLC por medio de la técnica de relés, DIN 57 113 también lo especifica, ya que sería imposible activar un paro de emergencia con un control averiado o simplemente detenido (figura 310).

Una vez que el paro de emergencia ha sido desenclavado, no debe ser posible que la máquina se ponga en marcha automáticamente. Si el paro de emergencia tuviera que ser ejecutado por el programa del PLC, permanecería inactivo, ya que el error se produce “fuera” del programa, por ello, la acción del paro de emergencia debe realizarse por (hardware) directamente sobre los elementos de potencia.

Un método es conectar la función de paro de emergencia con la tensión de alimentación de los módulos de salida. La conexión debe ser a prueba de fallos. En el caso de un paro de emergencia, todas las salidas deben asumir la señal.

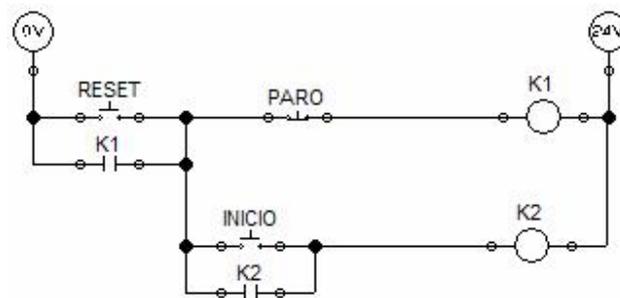


Figura 3.10 Ejemplo de un paro de emergencia en un circuito eléctrico con simbología americana.

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

El nuevo arranque del sistema debe ser controlado por medio de un programa del PLC. Hay dos posibilidades para el arranque después de una emergencia:

- Continuar a partir del mismo punto.
- Situar el sistema en posición de partida y volver a poner en marcha el sistema desde el origen.

En el segundo caso, es necesario pasar al modo manual o modo de ajuste.

Si se requieren medidas de seguridad adicionales para el paro de emergencia, deben utilizarse relés o controles neumáticos adicionales por parte del usuario. También pueden utilizarse PLC's especiales de seguridad que funcionan por medio de dos unidades centrales separadas, con dos etapas conectadas en serie para cada salida (sistemas redundantes).

#### **3.3.6.3.1.10 Válvulas neumáticas/hidráulicas**

Se utilizan válvulas de 5/4 ó 5/3 vías con posición central normalmente cerrada (posición con bloqueo de las conexiones al cilindro). Estas válvulas bloquean el cilindro entre dos cámaras de aceite o de aire. En el caso de cilindros neumático deben elegirse tubos cortos entre cilindros y válvula y restricciones en el aire de escape de la válvula.

#### **3.3.6.3.1.11 Motores eléctricos**

Si se utilizan motores con freno en el caso de un fallo de tensión, el freno actúa inmediatamente como resultado de la fuerza de un muelle.

### **3.3.6.3.1.12 Conexión segura ante un fallo**

La mayoría de las máquinas se ponen en marcha por medio de un botón y se desconectan por medio de otro. El botón de desconexión asume adicionalmente una función de seguridad. El proceso de trabajo puede ser interrumpido en cualquier momento y la máquina puede detenerse. Sin embargo, con el paro de emergencia, todo el sistema se desconecta. A diferencia del paro de emergencia, la función de desconexión (OFF) se controla a través del PLC.

Sin embargo hay que observar que la función de desconexión debe mantenerse aunque el cableado del pulsador de desconexión sea defectuoso. La conexión debe ser a prueba de fallos (fail-safe), es decir, el pulsador desconexión debe conectarse y programarse en forma de un contacto normalmente cerrado. La lista de asignaciones facilita información relacionada con los estados físicos del elemento y sus estados lógicos (señal 1 ó señal 0)

### **3.3.6.3.2 Comunicaciones con PLC**

#### **3.3.6.3.2.1 La necesidad de comunicación**

Por comunicaciones con PLC, entendemos la transferencia de información, es decir, de datos, entre el control lógico programable y otros dispositivos de procesamiento, en donde estos dispositivos se utilizan como un medio auxiliar para tareas de control específicas, entrada de datos a través de una computadora o emisión de datos hacia una impresora.

La automatización aumenta la necesidad de comunicación. Los datos deben fluir continuamente desde la producción a otras áreas operativas. Esto proporciona una visión de conjunto de los estados de la producción y de las tareas individuales (adquisición de datos de producción).

Actualmente, los sistemas automatizados están equipados con complejos sistemas de detección de errores y de fallos. Las indicaciones de fallos y advertencias deben generarse, centralizarse y ser comunicadas automáticamente al operador. Para ello se conecta al control una impresora o un (display) electrónico para la indicación instantánea.

En algunos casos, los datos se transfieren al PLC por una computadora en un proceso activo, o se combinan dispositivos de control en una red de sistemas.

#### **3.3.6.3.2.2 Transmisión de datos**

Para que un PLC pueda comunicarse con otros dispositivos de procesamiento de datos los bits individuales, que se combinan en una palabra de datos (data Word), deben transmitirse desde una Terminal de datos a otro.

Aquí debe hacerse una distinción básica entre dos métodos de transmisión de datos: serie o paralelo.

La transmisión de datos en paralelo significa que debe utilizarse una línea independiente para cada señal binaria individual. Cuando los generadores de señal están, conectados a un control lógico programable, se instala un cable para cada pulsador, final de carrera y transductor hasta una Terminal de bornes y de ahí a la entrada del PLC, toda la información puede así transmitirse simultáneamente (en paralelo) al PLC. En el caso de transmisión paralela de señales de entrada y salida, se necesitan kilómetros de cables en aquellas instalaciones y máquinas que por su complejidad ocupan muchas entradas/salidas.

Por ello, para la transmisión en paralelo de una palabra de datos (data Word) debe disponerse del suficiente número de líneas para transmitir todos los bits de esta (data Word) simultáneamente. Con la transmisión de todos en serie se transmite sólo una señal binaria cada vez.

Consecuentemente, se necesita sólo una línea de datos para la transmisión en serie de palabras de datos, independientemente del número de bits, para transmitir señales binarias consecutivamente. Para poder identificar las diferentes señales en forma de palabra de datos, es necesario que el emisor y el receptor estén ajustados a la misma velocidad de transmisión (frecuencia en Baudios), longitud de palabra, bit de inicio y de parada y paridad.

### **3.4 Sistemas de control lógico**

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

Las tareas de control realizadas típicamente en forma de control lógico, se caracterizan por el hecho que no se asigna una duración de tiempo al proceso, sino que todas son examinadas simultáneamente.

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

#### **3.4.1 Sistemas de control lógico sin propiedades memorizantes**

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

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

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

### 3.4.2 Temporizadores

Muchas tareas de control requieren la programación de tiempos. Por ejemplo, el cilindro 2.0 debe avanzar si el cilindro 1.0 ha retrocedido pero solo tras un retardo de 5 segundos. Esto se conoce como señal con retardo a la conexión de las señales. Durante la conexión de las etapas de potencia se necesitan a menudo por razones de seguridad.

Los temporizadores en un PLC se realizan en forma de módulos de (software) y están basados en la generación digital de un tiempo. Los pulsos de reloj contados se obtienen del generador de cuarzo del microprocesador. La duración del tiempo establecida se establece en el programa de control.

IEC 1131-3 define tres tipos de bloques de función de temporizador

- TP pulse timing – temporizador de pulso
- TON on-delay timing – temporizador a la conexión
- TOFF off-delay timing – temporizador a la desconexión

La duración del tiempo está especificada por medio de un formato de carácter definido. Una especificación de tiempo se introduce por los caracteres T o t-seguido por los elementos del tiempo, es decir, días, horas, segundos y milisegundos.

### 3.4.3 Contadores

Los contadores se utilizan para detectar cantidades y eventos. En la práctica, los controles necesitan a menudo utilizar contadores. Se necesita un contador si, por ejemplo, deben contarse exactamente 10 piezas para que sean dirigidas a una cinta transportadora por un dispositivo de clasificación. IEC 1131-3 distingue entre tres diferentes módulos de contador:

- CTU: incremental counter – contador incremental
- CTD: decremental counter – contador decremental
- CTUD: incremental/decremental counter – contador incremental/decremental

Sin embargo, en muchas tareas de control es necesario utilizar los denominados contadores de alta velocidad. La “alta velocidad”, en este caso, se refiere generalmente a una frecuencia de conteo superior a 50hz., es decir, contar más de 50 eventos por segundo. Las tareas de este tipo no pueden resolverse con los módulos estándares de esta función de un PLC.

Las limitaciones de la frecuencia de conteo en los bloques de función contadores se deben en primer lugar a los retardos de las señales de entrada. Cada señal de entrada es decir, también las señales de conteo, es retardada por (hardware) un cierto tiempo, antes de que sea entregada al PLC para su procesamiento. Esto evita interferencias. Otra limitación es el tiempo de ciclo del PLC.

Por esta razón, en los PLC's se dispone generalmente de módulos contadores adicionales para conteo a alta velocidad.

## Capitulo 4

### Procesado de café Tlacuilotepec - La Ceiba

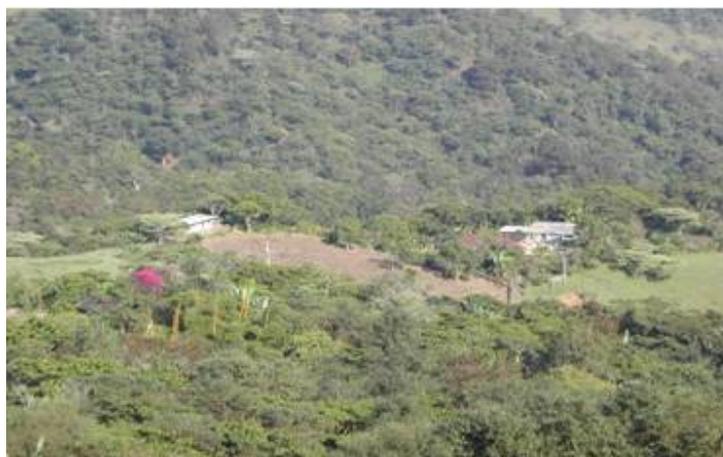
#### 4.1 Municipio de Tlacuilotepec

El municipio de Tlacuilotepec esta ubicado en la sierra norte de Puebla (*figura 4.1*) limitando al este con el estado de Hidalgo y al noroeste con Veracruz; la principal derrama económica es obtenida a través del café esto se debe gracias a las condición climatológica templada con lluvias todo el año.

#### 4.2 Cultivo y Procesamiento del café en el municipio de Tlacuilotepec.

##### 4.2.1 Manejo del suelo.

Ya que las preferencias de los consumidores son cada vez más exigentes los productores deben buscar nuevas opciones para acentuar la calidad del café, una manera de lograrlo es delimitando la altura del cultivo de 600 a 1,400 msnm. Ya que Tlacuilotepec cumple con estas condiciones produce café altamente competitivo. En México se produce café de calidad comparable con el de Colombia.



*Figura 4.1 Municipio de Tlacuilotepec.*

Uno de los problemas más comunes en el cultivo del café, particularmente en las regiones de la sierra norte de Puebla es la conservación del suelo debido a la acción erosiva de las lluvias torrenciales, por consiguiente es esencial al establecer una plantación de café, proteger el suelo tan pronto como se realice el acondicionamiento del terreno una manera de hacerlo es plantar cercos de árboles a lo largo de los contornos para protección del cultivo en estas áreas de pendientes muy inclinadas.

#### 4.2.2 Cultivo

El cultivo de la planta del café requiere un largo proceso de maduración que comienza a partir de una semilla culminando con la obtención de una mata apta para dar frutos como veremos a continuación:

- El fruto del café conocido como cereza se deshidrata obteniendo una semilla misma que será sembrada en pequeños recipientes de pet, se le permite germinar hasta un tamaño de 20 cm. aproximadamente.
- Se realiza la selección de las matas de café a plantar, cabe mencionar que en esta zona se cultiva exclusivamente la variedad arábica.
- Las matas se plantan por lo general en un terreno inclinado (*figura 4.2*), esto mejora el riego en tierras de temporal.
- Dos años después la planta llega a su madurez sexual, comenzando así a florear y a dar fruto.
- Su vida productiva es de 20 a 25 años por lo que en el mismo lugar de cultivo se debe tener plantas de diferentes edades para una producción continua.

La planta del café dará frutos una vez cada año y para obtener un mejor rendimiento de la misma es necesario tener algunos cuidados. Uno de ellos consiste en “*chapear*” (limpiar de hierbas no productivas) toda la zona donde se ubican las matas, esto es con el fin de que no mermen la absorción de nutrientes del café



*Figura 4.2 Relieve de la zona conocida como “La Cueva” en el municipio de Tlacuilotepec.*

### **4.2.3 Café con químicos**

Muchos cafecultores tienden a utilizar abonos y plaguicidas químicos que, a corto plazo aumentan los rendimientos y disminuyen la carga de trabajo. Sin embargo, a mediano y largo plazo, se crea una dependencia debido a que las especies dañinas se vuelven resistentes a los plaguicidas y se hace necesario utilizar productos más fuertes y peligrosos.

El DDT, el lindano y el paraquat son de los más vendidos en la región cafetalera del Puebla y en general en las zonas marginadas de México, dado su bajo costo en comparación con alternativas menos tóxicas. En cuanto a su aplicación, los agricultores rara vez utilizan equipo protector. Como debe agregarse agua a los plaguicidas antes de aplicarse, estas mezclas a menudo se realizan a orillas de los ríos.

#### 4.2.4 Abonado

Previo al abonado de las plantas, estas deben someterse a una revisión con el fin de determinar en que porcentaje es necesario abonar el cultivo.



*Figura 4.3 Revisión a las plantas del café para determinar en que porcentaje será necesario abonar.*

Actualmente los cafeticultores han optado por el uso de las nuevas tecnologías de fertilizantes líquidos que surgieron en el mercado; estos productos son aplicados por aspersión directa a las plantas, le suministran los nutrientes complementarios, igual como lo hacen los fertilizantes sólidos aplicados al suelo.

La fertilización mediante sustancias líquidas aplicadas directamente sobre las hojas tiene indiscutibles ventajas sobre la aplicación de abonos orgánicos insertados al suelo. Una notoria ventaja aseverada por los campesinos de la sierra norte de Puebla, es que el fertilizante aplicado a las hojas es aprovechado en una proporción, de por lo menos el 90%. Contrastándolo con los abonos orgánicos aplicados al suelo que se pierden en más de la mitad.

Otras ventajas de esta técnica foliar es que los fertilizantes se pueden mezclar con funguicidas en la misma solución. Al mismo tiempo que nutrimos estamos salvaguardando de las plagas; se recomiendan dos aspersiones al año.

Es muy manejado el de abono orgánico, este puede estar compuesto de diversos desechos orgánicos uno de los mas importantes es el desecho del café terminado.

La colocación del mismo debido a la inclinación del relieve que impera en Tlacuilotepec, se realiza una excavación tipo media luna en la parte mas alta que colinda con la planta del café en esta cavidad es donde se inserta el abono recubriéndolo con tierra para que mediante la precipitación pluvial se concentre hacia el suelo y la raíz de la mata.

Ahora que la mata es apta para producir el fruto del café se procede al corte y recolección también llamado “pizca del café” que en la región de la sierra norte de Puebla inicia el corte en los meses de septiembre y octubre concluyendo en abril y mayo.

#### **4.2.5 Procesamiento del café**

El corte del café inicia en el mes de septiembre, culminando en marzo del siguiente año. Este se realiza seleccionando el café que tenga una coloración roja, (*figura 4.4*) mismo que se deposita en un canasto que por lo general va amarrado a la cintura del agricultor o colgado de su hombro, una vez lleno el canasto se deposita su contenido en costales para ser trasladados al lugar donde serán procesados.

Posteriormente se vierte en la despulpadora (*figura 4.5*) con la finalidad de separar al cáscara roja del grano; subsiguientemente se lava la semilla permitiendo la total separación de los residuos de la pulpa misma que se emplea para abono orgánico, el grano obtenido se tiende en una superficie plana formando una fina capa, dejándola secar durante seis días (*figura 4.6*); debido al tipo de clima y la

imperante precipitación pluvial durante la mayor parte del año el proceso de “tendido” implica extender el café desde la salida del sol, y concentrarlo en el ocaso, evitando así su deterioro provocado por esta; este proceso de extendido y concentrado debe repetirse durante los seis días de secado.



*Figura 4.4 Granos de café rojizos listos para su corte.*

Una vez finalizado el proceso de secado, el grano debe separarse de una fina cáscara, esto se hace empleando un molino, con una presión suficiente para desprender esta cáscara sin destruir el grano, al término, el agricultor, va soplando la semilla, para que las impurezas se separen del mismo.



*Figura 4.5 Despulpadora Manual.*

Posteriormente el producto obtenido es colocado en comales de tebernal mismo que se mantiene a una temperatura alta gracias a la leña encendida; es allí donde mediante un movimiento constante se logra el tostado del café, este movimiento es para lograr un tostado uniforme.



*Figura 4.6. Extendido del café.*

Finalmente es transportado al área donde se encuentran los molinos, estos lo pulverizarán obteniendo el polvo listo para su consumo

#### **4.2.6 Municipio de la Ceiba**

Ubicado en las colindancias de Puebla con Veracruz (figura 4.7) encontramos el municipio de la Ceiba su economía se basa en el mercadeo de diversos productos de primera necesidad (entre estos el Café) y de las divisas Estadounidenses.

En este poblado nos encontramos con la procesadora de café única en este municipio, debido a la emigración y los estados financieros de las bolsas de

valores el café se ha cotizado en estos últimos años a un muy bajo precio, provocando que los demás negocios dedicado a este giro cierren.



Figura 4.7 Ubicación del municipio la Ceiba. <sup>[1]</sup>

En este beneficio de café se procesan hasta 30 toneladas de este producto siendo un beneficio con grandes alcances en cuanto a producción. En el encontramos diferentes procesos por los que pasa el café, estos son muy parecidos a los del municipio de Tlacuilotepec.

#### 4.2.6.1 Procesamiento del Café La Ceiba

Comenzando con la recolección del café, llegan transportes de diferentes partes de este municipio y alrededores, trayendo el producto que es depositado en una cisterna por paleo (figura 4.8), posteriormente es lavado manualmente gracias a una manguera este proceso tiene una duración de 2 horas hasta pasar al siguiente módulo donde será despulpado.

El producto es llevado a las despulpadoras (figura 4.9) por medio de bombas hidráulicas estas funcionan bajo el mismo principio de las despulpadoras manuales, posteriormente el grano cae por gravedad gracias a que es irrigada una gran cantidad de agua, este pasa por un pequeño canal donde se van

<sup>[1]</sup> Mapas enciclopedia encarta 2007

precipitando sólidos (piedras, hojas, tallos, etc.) finalmente llega a otra cisterna (figura 4.10) donde se fermentará por 10 horas.



*Figura 4.8 Recolección del café.*



*Figura 4.9 .El café llega casi limpio al siguiente modulo gracias a los canales con rejillas.*



*Figura 4.10 Cisternas donde el café se fermenta por 10 horas.*

Concluido el tiempo, el producto se desplaza por gravedad hasta una banda que lo transportará a una secadora de aire, la cual deja medianamente húmedo el producto con la finalidad de omitir tiempo en las secadoras eficientando así el proceso, la forma en que el café es transportado hasta las secadoras es gracias a un arreglo de bandas sin fin (figura 4.11), a continuación el café se precipita a las secadoras donde permanecerá por 24 horas logrando un tostado uniforme.



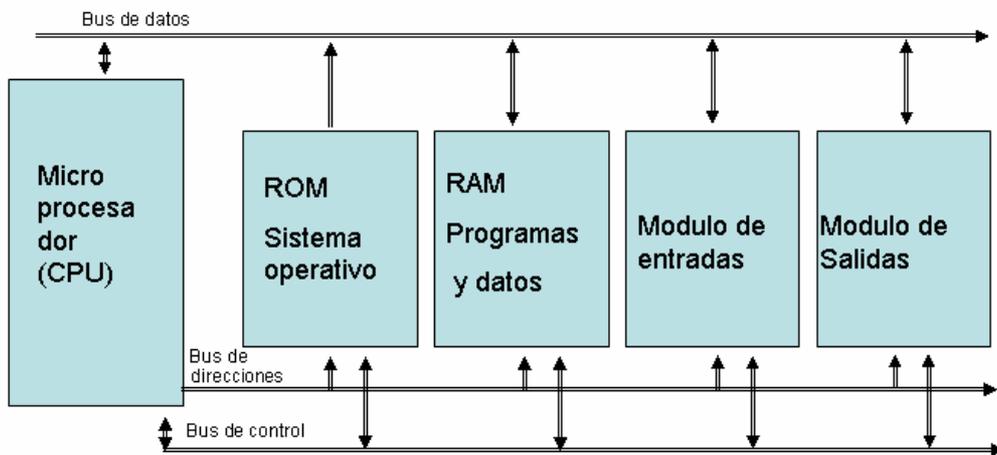
*Figura 4.11 El café sube hasta estos cilindros posteriormente las compuertas se abren manualmente y el café cae hasta las secadoras.*

El fruto se escanea continuamente por una persona encargada de realizar un muestreo controlando la calidad y el tostado. Transcurrido el tiempo es depositado en una maquina que se encarga de dejar el café en grano y listo para molerse obteniendo el polvo de café.

## CAPÍTULO 5

### Automatización del proyecto

#### 5.1 Introducción



*Figura 5.1 Diseño fundamental de un PLC.*

La figura 5.1 ilustra el diseño fundamental de un PLC. El hardware del PLC, está basado en un sistema de bus. El cual consiste en un determinado número de líneas eléctricas divididas en líneas de direcciones, de datos y de control. La línea de direcciones se utiliza para seleccionar la dirección de un elemento conectado al bus y la línea de datos para transmitir la información requerida. Las líneas de control son necesarias para habilitar el dispositivo conectado al bus como emisor o receptor.

Los principales elementos conectados al sistema de bus son el microprocesador y la memoria. Esta puede dividirse en memoria para el (firmware), memoria para el programa y los datos del usuario, finalmente es necesaria la conexión para la computadora, actualmente y en la mayoría de los casos en forma de una interfaz de serie.

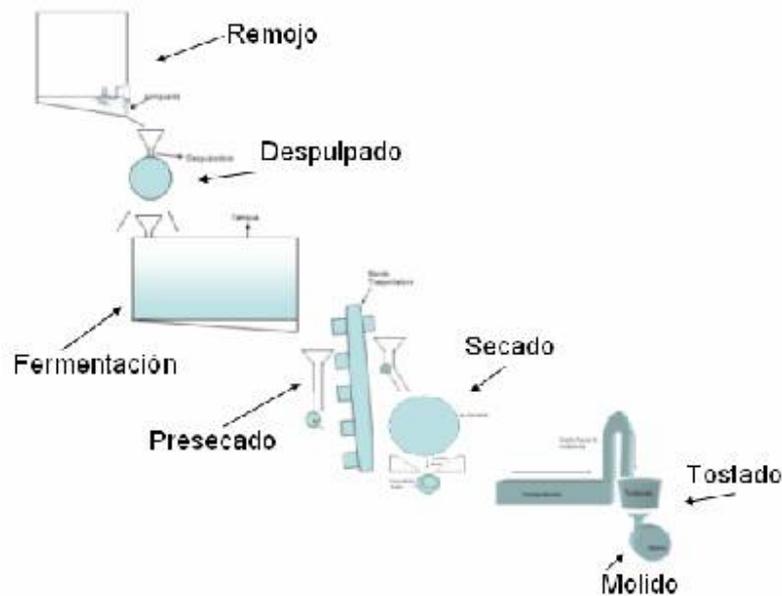


Figura 5.2 Este proceso de automatización consta de 5 etapas

En la figura 5.2 se puede observar el proyecto el café se dosificara desde su etapa de cereza hasta llegar a su condición de consumo que es conocida como polvo este sistema completo que de siete etapas que son:

- ✓ Remojo
- ✓ Despulpado
- ✓ Fermentado
- ✓ Presecado
- ✓ Secado
- ✓ Tostado
- ✓ Molido

En este capítulo se explicarán cada una de las etapas que constituyen este proyecto, en cada tópico se mencionará en que consiste, como funciona su diagrama y la parte del programa del PLC que lo controla.

La automatización de este proceso tiene capacidad para trabajar de 10 hasta 20 toneladas café cereza de los cuales se aprovecha el 70% ya que el 30% restante es merma y desperdicios (cáscaras, suciedad y humedad)

Como ya vimos en el capítulo anterior el proceso consta de diferentes etapas que veremos a continuación, recordando que en este no existe la intervención humana salvo algún imprevisto.

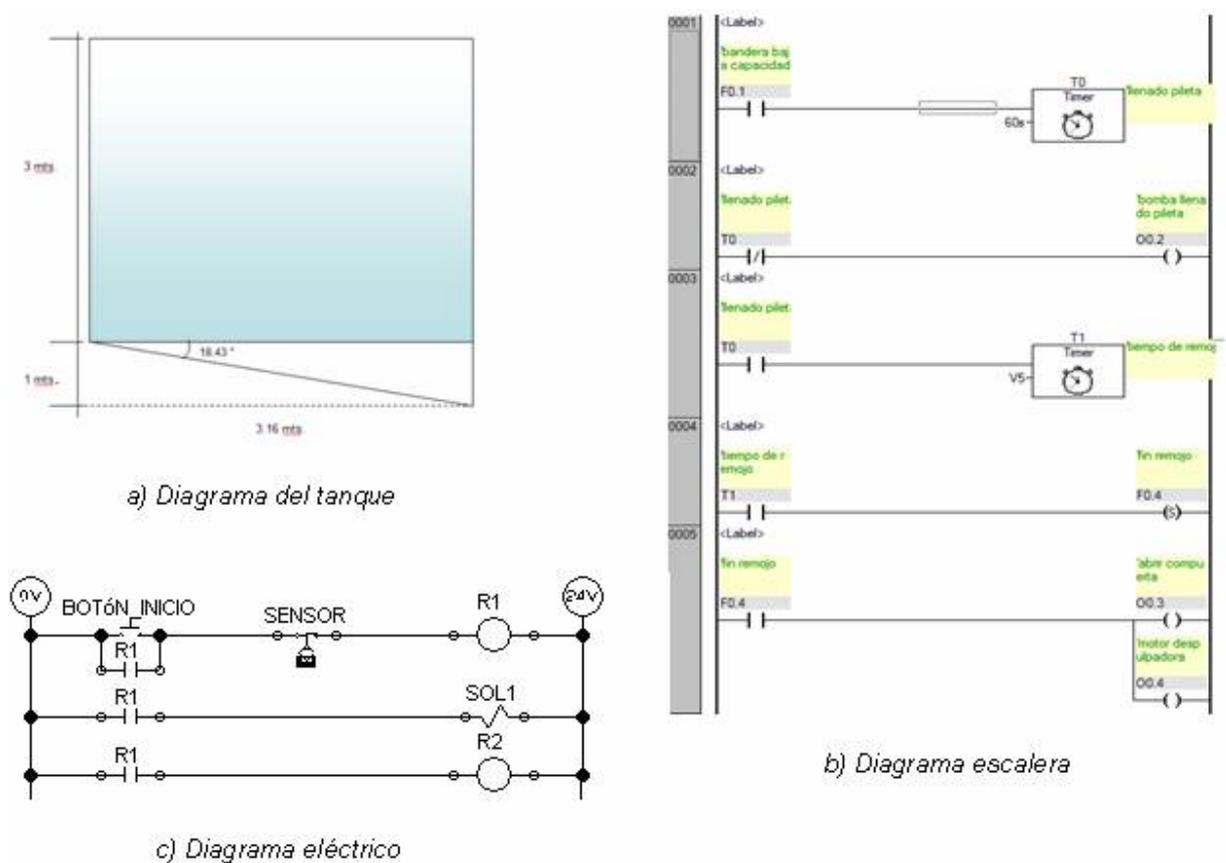


Figura 5.3 Diagramas de la sección de remojo.

## 5.2 Etapas del proyecto

### 5.2.1 Remojo

Una vez depositado el café en el tanque (*figura 5.3 a*), se le indica al PLC la cantidad de café que tendrá que procesar mediante la presión de un botón (botón inicio) en el panel de control, este panel contará para esta causa con tres botones (capacidad alta, capacidad media ó capacidad baja) (*figura 5.4*); el depósito donde se remojará el café cuenta con las siguientes características:

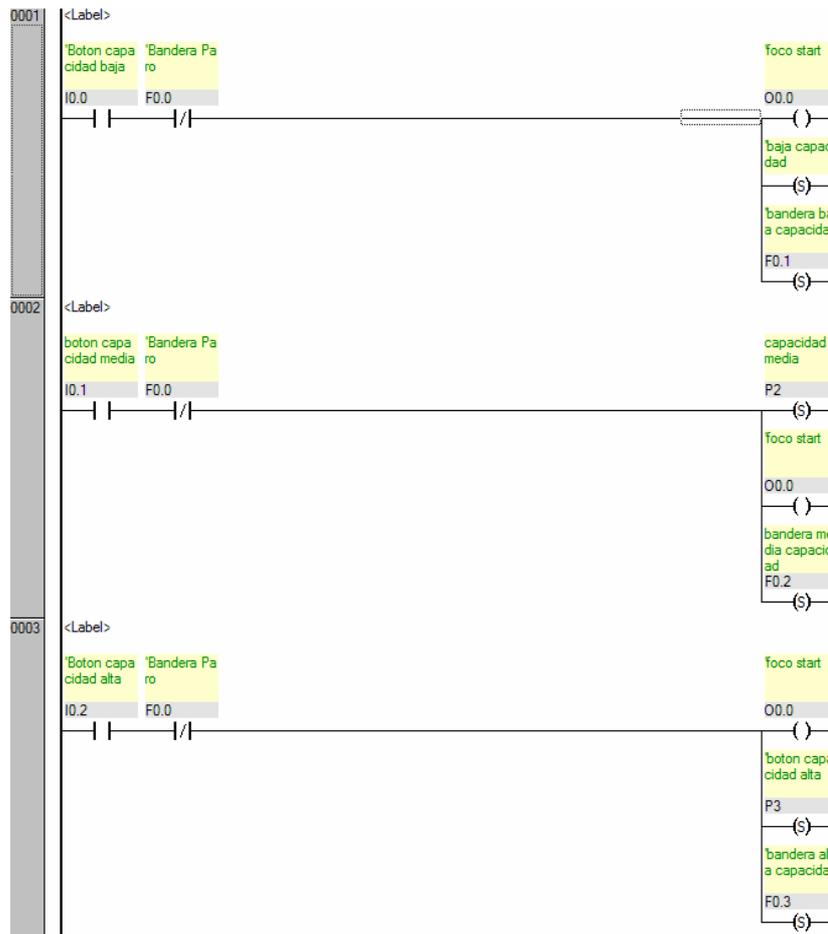


Figura 5.4 Sección de diagrama escalera que controla el PLC.

Este tanque tendrá capacidad para contener hasta 20 toneladas de café cereza en su fase de remojo, mismo que permanecerá por un lapso de 5 horas este tiempo será controlado mediante los (timers) internos del PLC que serán controlados gracias a la sección de remojo en el lenguaje escalera (*figura 5.5 b*).

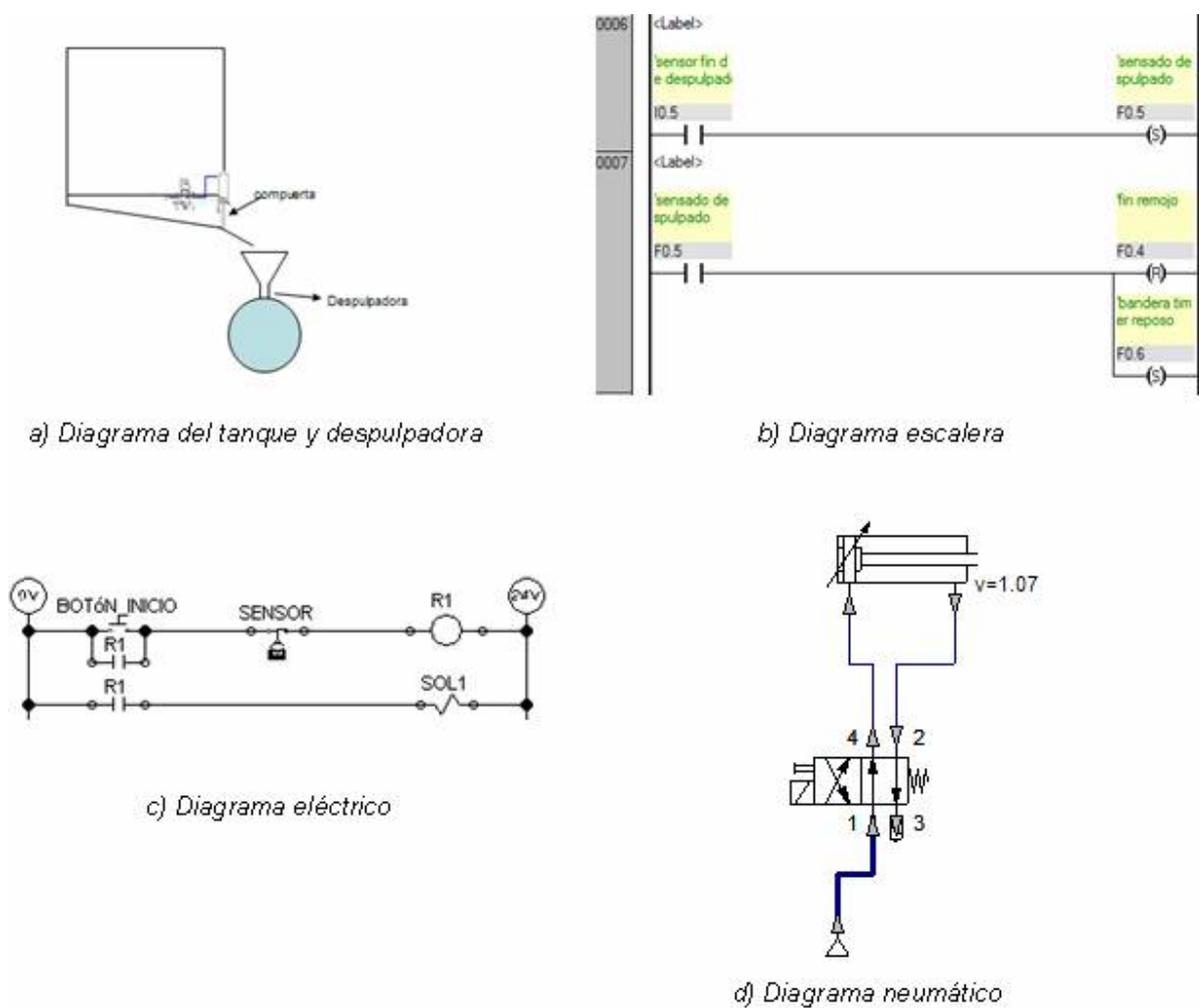


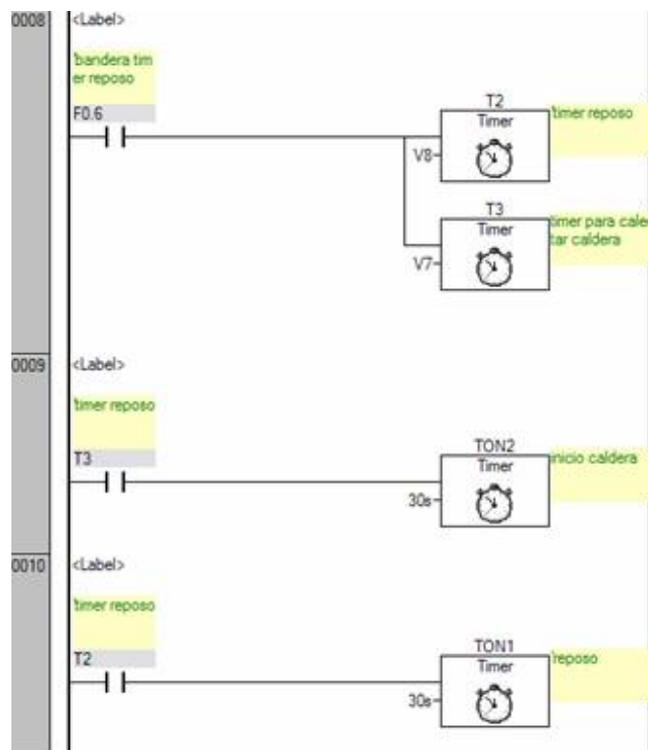
Figura 5.5 Diagramas de la sección de despulpado.

### 5.2.2 Despulrado

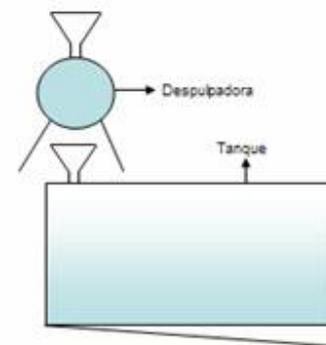
Comienza al abrirse la compuerta del contenedor por medio de un cilindro neumático conectado eléctricamente al PLC y accionado neumáticamente (*figura 5.5 d*), por efecto de la gravedad el café caerá a la entrada de la despulpadora, el motor de esta se acciona simultáneamente al abrir la compuerta, finalmente un sensor de tipo inductivo (*figura 5.5 c*) indicará cuando se haya despulpado todo el café deteniendo el motor de la despulpadora, esto se logra gracias a la parte de control en el que se le indica al PLC que tome la señal del sensor que esta conectado directamente a la entrada del PLC y cerrando la compuerta del contenedor al finalizar la caída del producto. (*Figura 5.4a*).

### 5.2.3 Fermentación del café

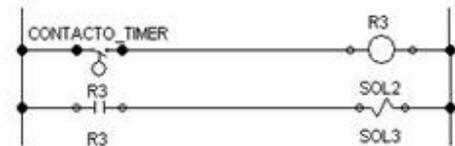
Directamente de la despulpadora el producto se desplaza por efecto de la gravedad a un tanque 20% más pequeño (figura 5.6 a)) que el tanque de remojo debido al porcentaje que se descartó en el despulpado, en este depósito el café se fermentará durante un tiempo de 8 horas (ver capítulo 3 temporizadores) mismo que se controlará mediante un (timer) del PLC (figura 5.4c)).



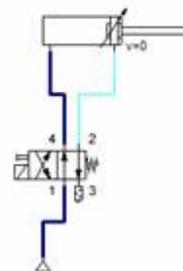
c) Diagrama escalera



a) Diagrama del tanque



b) Diagrama eléctrico

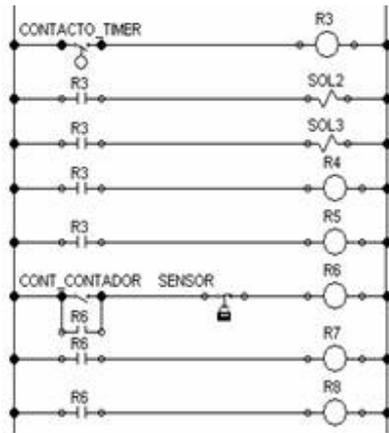


d) Diagrama neumático

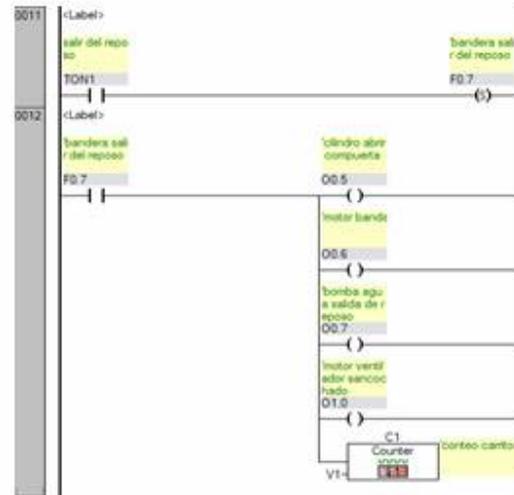
Figura 5.6 Sección de fermentación del café.

### 5.2.4 Presecado

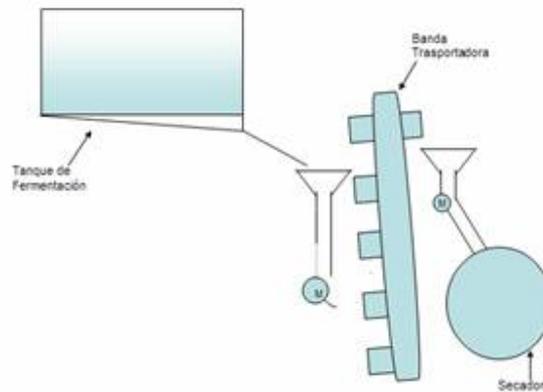
Una hora antes de que termine el proceso de fermentación la caldera se preparará (figura 5.6 renglón 0008) para enviar aire caliente a través del ducto por donde se trasladará el café durante el proceso de presecado, el aire se mandará gracias a un motor que es accionado por el PLC (figura 5.6 a) renglón 0012).



a) Diagrama eléctrico



b) Diagrama escalera



c) Diagrama del tanque a la secadora

Figura 5.7 Sección de presecado del café.

El café saldrá del contenedor de la fase anterior al abrir una compuerta e irrigar ligeramente un plano inclinado (se activará la SOL\_3 (figura 5.7 a)) que lo llevará a los cajones montados en una banda (figura 5.6 c)), los cuales lo depositarán en el ducto de

presecado. Los cajones funcionarán un tiempo determinado por la cantidad de café indicada al inicio del proceso, al final de este tiempo, el PLC detendrá el motor de la banda, cerrará la compuerta del tanque de fermentación y cerrará la válvula de irrigación del plano inclinado.

### 5.2.5 Secado

El café caerá directamente a la secadora proveniente del ducto de secado (figura 5.7c)); la secadora consiste en un cilindro que gira por la cual circula un flujo constante de aire caliente proveniente de la caldera impulsado mediante un ventilador.

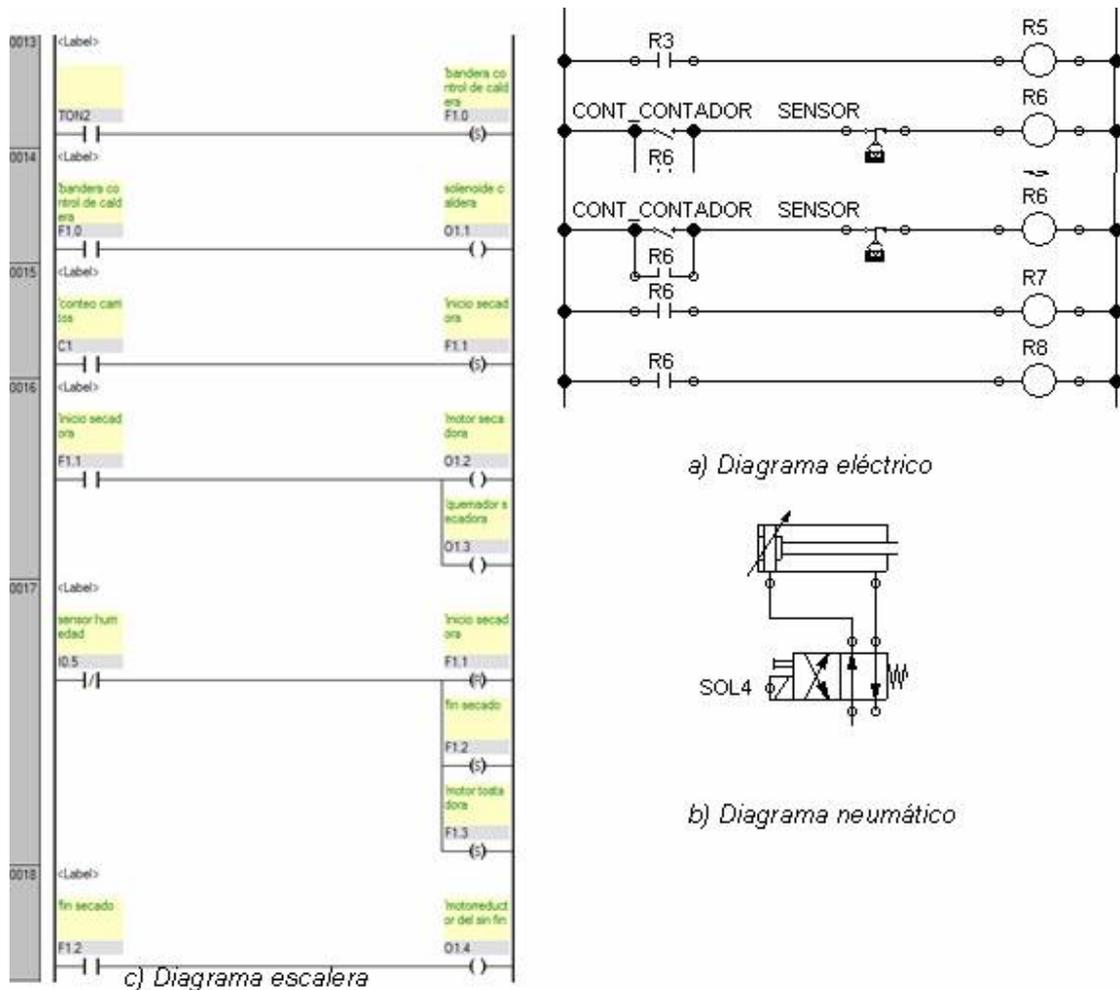


Figura 5.8 Sección de Secado.

### 5.2.6 Tostado y molido del café

Un sensor de humedad indicara al PLC que el café esta a una humedad del 12% y con esto se detendrá el motor que hace girara la secadora (figura 5.9 e)), y el motor del ventilador estos se activaran gracias a los relés conectados al PLC, se abrirán las compuertas dejándolo caer a un transportador sin fin (figura 5.9) que lo precipitará a la tostadora la cual sensorá la temperatura y la presencia del café dentro de la misma posteriormente se transportará a un molino que funcionará solo cuando exista presencia de grano .

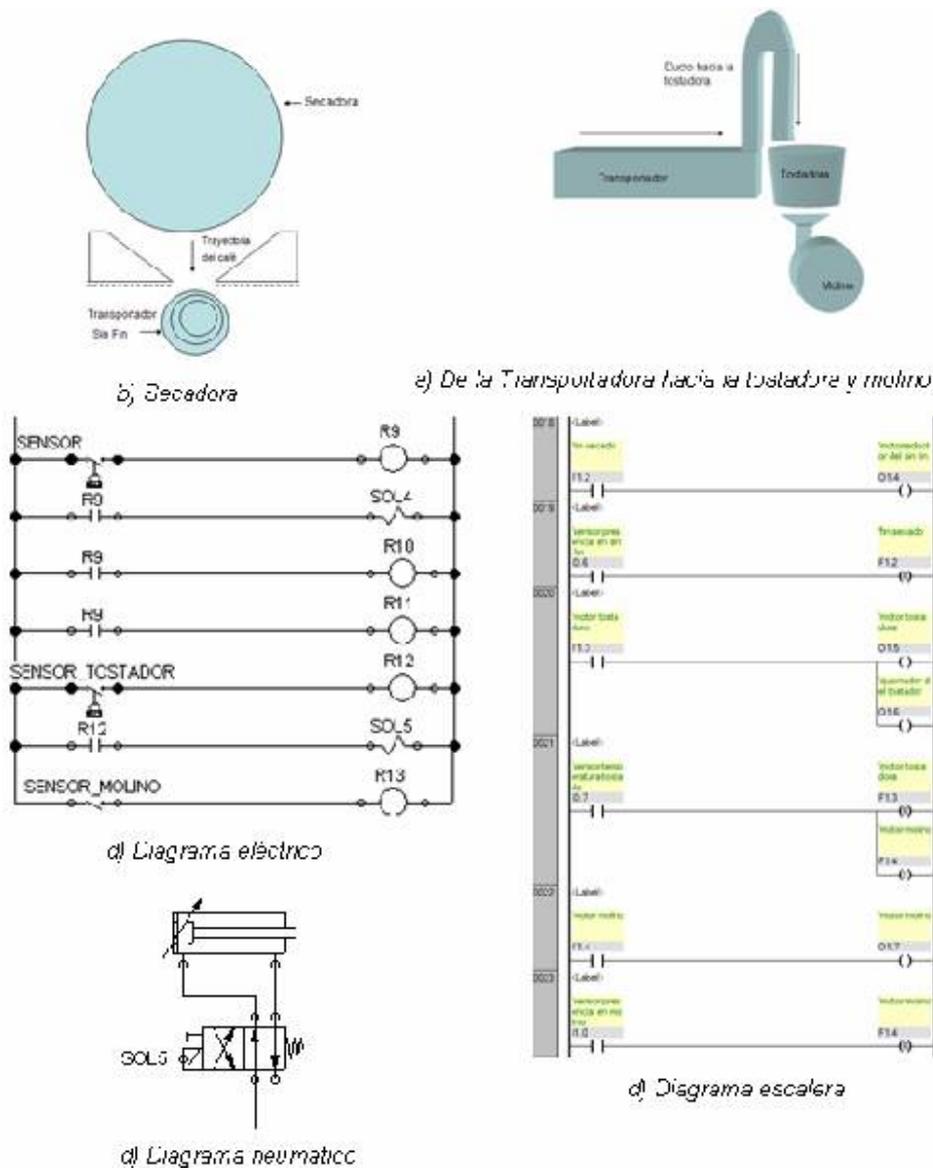


Figura 5.9 Tostado, Secado y Molido.

### 5.3 Programa en lenguaje escalera de acuerdo al estándar IECC

En la figura 5.9 se ilustra el programa principal, el cual tiene la función de controlar a los demás programas y como se ilustra estas serán comandadas por la señal llamada P1, P2 y P3 cada una tiene la opción de 3 funciones en el que se elige la cantidad de café a procesar (alta, media o baja).

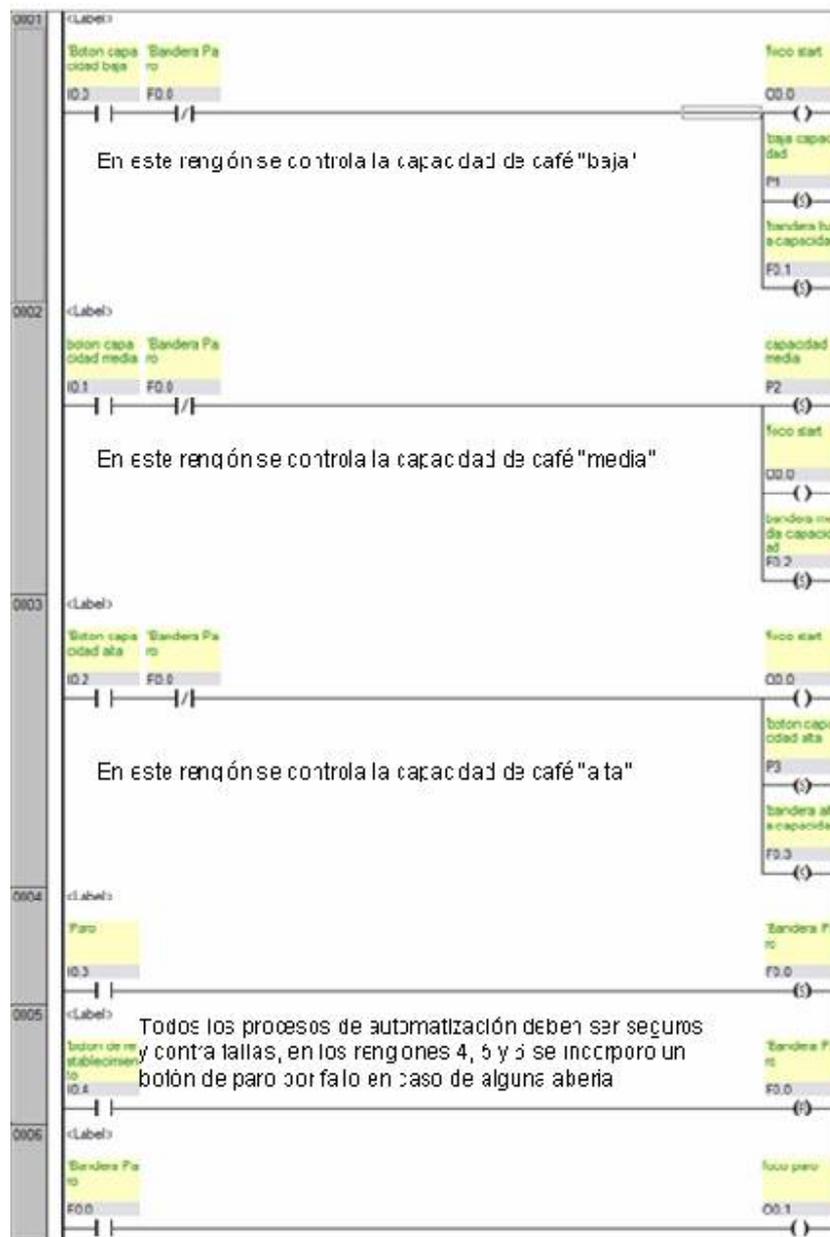


Figura 5.10 Programa Principal

### 5.3.1 Diagrama eléctrico y Conexiones AI PLC

A continuación se ilustra el diagrama eléctrico del proceso que realiza el PLC estas funciones estarán programadas en el diagrama escalera.

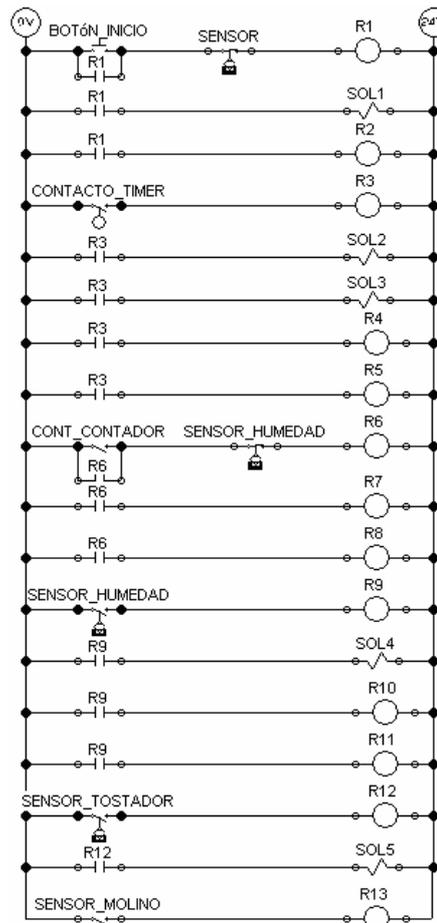


Figura 5.11 Diagrama eléctrico del proceso del PLC.

En el circuito se analizan todas las conexiones eléctricas que se deberían de realizar si no se implementara el PLC; el realizar el proyecto de esta manera implicaría mayor mano de obra y mantenimiento, por esta razón este circuito es meramente ilustrativo y su objetivo es clarificar el proceso interno del PLC.

En la figura 5.12 se ilustra la manera en que se conectarán eléctricamente las conexiones al PLC

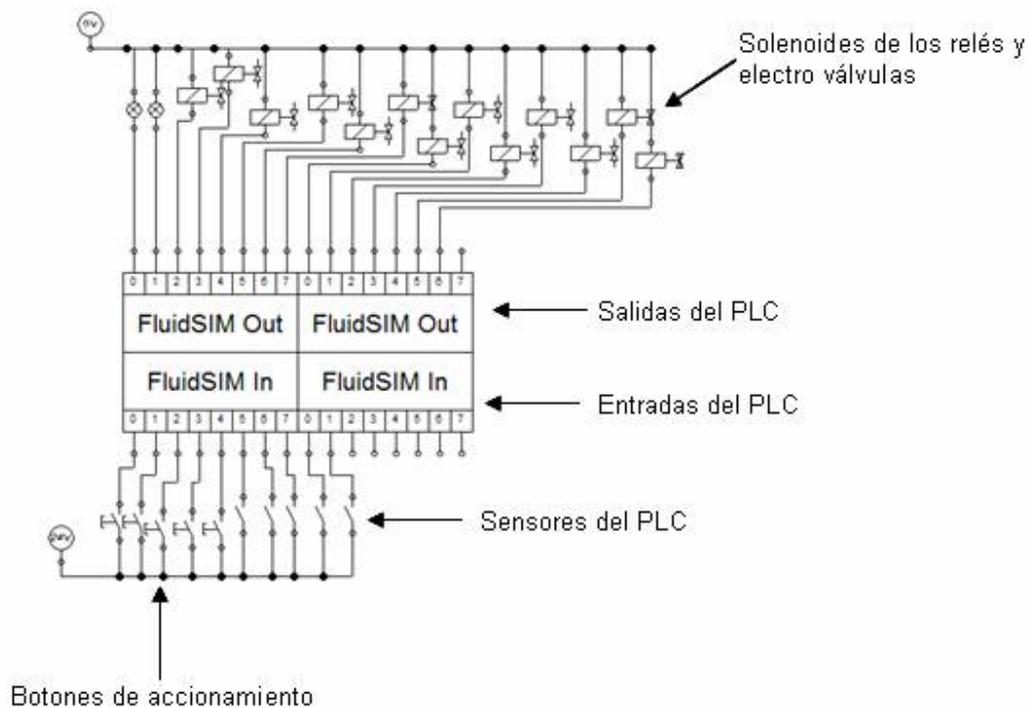


Figura 5.12 Conexiones al PLC.

### 5.3.2 Diagrama neumático

En la figura 5.13 se ilustra el diagrama neumático de los cilindros que controlan las compuertas de las diversas etapas del proceso. Como se observó en el capítulo 2 de neumática las electro válvulas están dirigidas totalmente por el PLC mediante su solenoide. Las válvulas son del tipo 4/2 y controlan cilindros de doble efecto, debido a la eficacia de esta para la aplicación

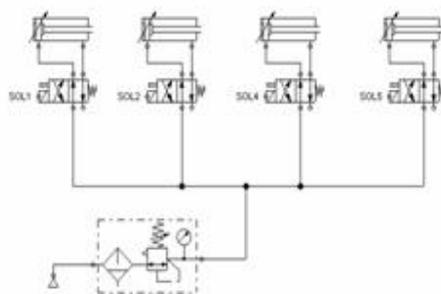


Figura 5.13 Diagrama neumático.

Todos los actuadores tienen descritas las características neumáticas con las cuales trabajará, en este caso debemos tomar en cuenta las de los cilindros de doble efecto que emplearemos para controlar las compuertas.

Tabla del Diagrama Eléctrico			
No de entrada	Conexión	No de Salida	Conexión
0	B. capacidad Baja	0	Foco inicio
1	B. capacidad media	1	Foco Paro
2	B. capacidad alta	2	Bomba llenado tanque
3	Paro	3	Solenoides compuerta del tanque
4	B. Restablecimiento	4	Relé del motor de la despulpadora
5	Sensor fin de despulpado	5	Compuerta del Segundo tanque
6	Sensor del sin fin	6	Relé del motor de la banda
7	Sensor tostado	7	Relé de la bomba para la salida del reposo
0	Sensor molino	0	Solenoides del relé para la caldera
D		1	Motor del ventilador presecado
D		2	Relé del motor de la banda sin fin
D		3	Relé del motor de la secadora
D		4	Relé del quemador de la secadora
D		5	Relé del motor de la tostadora
D		6	Relé del quemador del molino

Tabla 5.1 Conexiones al PLC.

La tabla 5.1 define la simbología de las conexiones que van directamente al PLC; esta tabla será esencial en el futuro ya que nos indicará a que pertenece cada componente de la instalación eléctrica.

## 5.4 Material a Emplear y Costos

En la tabla 5.2 se añaden los costos y la significancia de todos los componentes eléctricos y neumáticos a utilizar.

Se utilizará un compresor de émbolo debido por su amplio margen de presiones que va desde a hasta 15 bar, recordemos que la presión con la que vamos a trabajar será de 4 a 6 bar, este tipo de compresor representa una viable y económica solución.

Los cilindros que se emplearán serán de la marca FESTO por su durabilidad y costo. En todos los casos se empleará el modelo CRDNGS-100- -PPV-A. Las válvulas para accionar estos cilindros de igual manera serán de la marca FESTO y el modelo elegido es el VUVB-S-M42-AZD-QX-1C1.

Nombre	Producto	Costo
Relevador de control de fase de despulpado	R1	\$ 119.00
Relevador de la despulpadora	R2	\$ 119.00
Relevador de control de fase del presecado	R3	\$ 119.00
Relevador del motor de la banda transportadora	R4	\$ 119.00
Relevador del ventilador de presecado	R5	\$ 119.00
Relevador de control de fase de secado	R6	\$ 119.00
Relevador del motor de la secadora	R7	\$ 119.00
Relevador del Motor de tostador	R8	\$ 119.00
Relevador del Molino	R9	\$ 119.00
Relevador del motor sin fin	R10	\$ 119.00
Relevador de la fase de tostado y molido	R11	\$ 119.00
Arrancador motor de la despulpadora	A1	\$ 1,380.00
Arrancador de la banda sin fin	A2	\$ 1,380.00
Arrancador de la banda transportadora	A3	\$ 1,380.00
Arrancador del molino	A4	\$ 1,380.00
Arrancador del Tostador	A5	\$ 1,380.00
PLC FEC 20	PLC 1	\$ 3,500.00
PLC FEC 20	PLC 2	\$ 3,500.00
Válvula de la compuerta del tanque de remojo	SOL 1	\$ 790.00

Válvula de la compuerta del tanque de Fermentación	SOL 2	\$ 790.00
Válvula por irrigación de plano inclinado	SOL 3	\$ 790.00
Válvula de la compuerta de la secadora	SOL 4	\$ 790.00
Válvula de la de la compuerta de la tostadora	SOL 5	\$ 790.00
Motor despulpadora	M1	\$ 3,500.00
Motor Molino	M2	\$ 2,500.00
Moto reductor banda sin fin	MR1	\$ 5,000.00
Foco paro	F1	\$ 120.00
Foco Stara	F2	\$ 120.00
Botón capacidad baja	B1	\$ 140.00
Botón capacidad media	B2	\$ 140.00
Botón capacidad alta	B3	\$ 140.00
Unidad de mantenimiento	U1	\$ 2,500.00
Cilindro tanque remojo	C1	\$ 3,500.00
Cilindro tanque de fermentación	C2	\$ 3,500.00
Cilindro de la secadora	C3	\$ 3,500.00
Cilindro de la tostadora	C4	\$ 3,500.00
Tostadora		\$ 100,000
Compresor tipo émbolo		\$ 1,400
Molino		\$ 70,000
<b>Total</b>		<b>\$218,719.00</b>

Tabla 5.2 Costos de equipo eléctrico y neumático.<sup>[1]</sup>

## 5.5 Relación costo Beneficio

Relación costo Beneficio a un Año							
Numero de mes	0	1	2	3	4	5	6
Ingresos Mensuales	\$ -	\$ 84,000.00	\$ 84,000.00	\$ 84,000.00	\$ 84,000.00	\$ 84,000.00	\$ 84,000.00
Gastos	\$ -	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00	\$ 10,000.00
Inversión Inicial	\$217,319.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
utilidad antes de impuestos	\$ -	\$ 74,000.00	\$ 74,000.00	\$ 74,000.00	\$ 74,000.00	\$ 74,000.00	\$ 74,000.00
Impuestos(15%)	\$ -	\$ 11,100.00	\$ 11,100.00	\$ 11,100.00	\$ 11,100.00	\$ 11,100.00	\$ 11,100.00
utilidad neta	\$ -	\$ 62,900.00	\$ 62,900.00	\$ 62,900.00	\$ 62,900.00	\$ 62,900.00	\$ 62,900.00
VPN (Valor Presente Neto)	\$ 56,000.00						

Tabla 5.3 Relación costo Beneficio

<sup>[1]</sup> [http://www.festo.com/INetDomino/coorp\\_sites/es/160666a440269f51c1256b82004afc70.htm](http://www.festo.com/INetDomino/coorp_sites/es/160666a440269f51c1256b82004afc70.htm)

En la tabla 5.3 se analiza la relación que existe en cuanto al retorno de la inversión, tomemos en cuenta que el procesado y la producción alta de café se da en seis meses productivos del año; en el mes 0 solo se toma la inversión inicial pues es un periodo de decisiones, en los siguientes se acarrea tanto los ingresos como los gastos, los ingresos son con base en procesar 10 toneladas mensuales de café, esto es una media de lo que la comunidad puede producir, recordando que solamente el 70% del café se aprovecha es decir se obtienen siete toneladas de producto terminado (café en polvo envasado) con un costo unitario de \$17.00 pesos mexicanos (precio en base a la cotización del café vigente de esa región) y los gastos abarcan luz, agua, mano de obra y mantenimiento.

De igual manera se contempla la inflación de 10% que es un indicador importante para el alza del precio del café, esto se deriva del valor presente neto (VPN), el cual es el resultado de restar la inversión inicial con el proceso que se ha llevado a lo largo de seis meses, es decir existe un superávit de \$56,000.00 pesos con retorno de la inversión, teniendo como consecuencia mucho mayor ganancia en los siguientes semestres provocando un elevado impacto económico en la población ya que los habitantes pasarían de ser agricultores a empresarios.

## **Conclusiones**

Una vez analizado y terminado este proyecto, podemos concluir que se reducirán en gran medida los tiempos de procesado del café, pues en lugar de procesar 150 Kg. en 7 días se podrán procesar hasta 20 toneladas en un lapso de 15 horas, cabe recordar que el producto terminado será el café en polvo, y que este producto no es comercializado en la zona de Tlacuilotepec, ya que solo es consumido por los nativos de la zona, esto es por la falta de recursos para la mejora de sus procesos del café. Gracias a este proceso los habitantes de la comunidad de Tlacuilotepec podrán comercializar el producto hasta su última consecuencia (café en polvo) Además a recuperar en un corto periodo de tiempo la inversión inicial.

Para llegar a esto hay varios caminos tecnológicamente hablando que se pueden seguir, uno de ellos es el uso de la lógica cableada, es decir sin PLC, este modelo no sería significativamente más barato que el modelo empleando el PLC, y requiere un mayor cuidado de mantenimiento además de por lo menos un operador que este a cargo del sistema, lo cual se traduce en costos. En cambio, el uso de la lógica programable, nos permite tener un proceso totalmente automatizado, y en un corto plazo es mucho mayor redituable este tipo de tecnologías.

## **Impacto Económico y Social**

El impacto social y económico en el municipio de Tlacuilotepec también es muy importante, ya que esto dará la oportunidad a los cafeticultores de obtener mayores ganancias por la venta del café, esto no solo debido a la mayor cantidad de café procesada, sino también debido a que al concluir el proceso una vez que el café está tostado y molido, es decir, listo para ser utilizado por el consumidor final, se podrán eliminar los intermediarios, que hasta ahora son los que obtienen el mayor porcentaje de las ganancias del trabajo de los cafeticultores. Con esto se espera que los habitantes

de esta región logren mejorar su calidad de vida sin que para ello tengan que abandonar el oficio que tradicionalmente han desarrollado por generaciones, esto quiere decir que su cultura misma esta basada en el cultivo del café, y debido a las pocas ganancias obtenidas últimamente, la población masculina se ha visto en la necesidad de emigrar a Estados Unidos en busca de mejores condiciones de vida para ellos y sus familias, ocasionando con esto que al volver a sus hogares después de algunos años, traen consigo diferentes costumbres como drogadicción delincuencia y también enfermedades venéreas, con este proyecto se espera que se logren mejorar su calidad de vida sin que para ello tengan que abandonar su cultura, es este posiblemente el mayor impacto social y económico que contempla nuestro proyecto.

## GLOSARIO

**Antirretorno:** Que evita el regreso de algún objeto o fluido.

**Asoleadero:** Lugar al aire libre donde se extiende el café para su secado.

**Axial:** Del eje o relativo a él: simetría axial.

**Bifurcaciones:** División en dos ramales: la bifurcación de la calle facilita el tráfico.

**Cafeticultor:** Persona dedicada a la cafecultura.

**Cafecultura:** Rama de la agricultura dedicada al cultivo del café.

**Celdas de presión:** Transductores de semiconductor que se fabrican por completo con circuitos puente y amplificadores. En efecto, la entrada a la celda es una presión, y la salida es una señal eléctrica.

**Deslinde:** Separación clara por sus límites de dos cosas unidas: en la tesis se propone un claro deslinde entre las dos etapas de su obra literaria.

**Despulsar:** Quitar la pulpa a la cereza y todo rastro de la fermentación.

**Detector de movimiento por radiofrecuencia:** Transductor que detecta el movimiento de cuerpos por medio de un campo electromagnético de radiofrecuencia radiado.

**Detector de movimiento ultrasónico:** Transductor que detecta el movimiento de intrusos mediante equipo generador y detector de ondas ultrasónicas. El dispositivo opera llenando un espacio con un patrón de ondas ultrasónicas, cuya modulación por los objetos en movimiento se detectan y activa un sistema de alarma.

**Detector infrarrojo de movimiento:** Transductor que detecta cambios en la radiación de luz infrarroja de partes de áreas protegidas. La presencia de un intruso cambia la intensidad de la luz infrarroja.

**Detector sónico de movimiento:** Transductor que detecta el movimiento de intruso porque perturban un patrón sonoro audible generado dentro del área protegida.

**Émbolos:** Disco que se ajusta y mueve alternativamente en el interior de una bomba para comprimir un fluido o para recibir de él movimiento.

**Firmware:** Bloque de instrucciones de programa para propósitos específicos, grabado en una memoria tipo ROM, que establece la lógica de más bajo nivel que controla los circuitos electrónicos de un dispositivo de cualquier tipo. Al estar integrado en la electrónica del dispositivo es en parte hardware, pero también es software, ya que proporciona lógica y se dispone en algún tipo de lenguaje de programación.

**Higrómetros resistivos:** Elemento cuya resistencia cambia con los cambios en la humedad relativa del aire en contacto con el elemento.

**Mata:** Planta perenne de tallo bajo, ramificado y leñoso.

**Merma:** Disminución o consunción de algo: algunos alimentos pueden sufrir una merma de volumen en su traslado.

**Muelle:** Pieza elástica, generalmente de metal, helicoidal o en espiral, que recupera su forma después de una deformación.

**Oscilación:** Movimiento alternativo de un lado para otro de un cuerpo que está colgado o apoyado en un solo punto.

**Pergamino:** El fruto del café tiene varias capas, el café pergamino así llamado por que cuenta aun con la última y más fina capa delgada.

**Presión:** Fuerza que ejerce un gas, líquido o sólido, sobre una unidad de superficie de un cuerpo: la presión se mide en pascales.

**Remojo:** Introducción de una cosa en agua para que, al empaparse, se ablande.

**Sicrómetros:** Dispositivo de medición de la humedad relativa que tiene dos transductores de temperatura (termómetros). Uno de los termómetros mide la temperatura de un elemento que sencillamente esta colocado en el aire ambiental. El segundo mide la temperatura de un elemento que esta rodeado de un material fibroso saturado de agua pura. El aire ambiental es forzado para que pase por ambos mediante un ventilador.

**Tendido:** Colocación de alguna cosa apoyándola en dos o más puntos.

**Termodinámica:** Parte de la física que estudia los intercambios de calor y de trabajo que se producen entre un sistema y su entorno y que origina variaciones en la energía interna del mismo: las leyes de la termodinámica establecen que la entropía del universo siempre aumenta.

**Transductores de humedad:** Hay muchas operaciones industriales que deben ejecutarse bajo condiciones de contenido de humedad específica y controlada. En algunos casos es de importancia la humedad contenida en el aire ambiental: en otros, la humedad contenida en el producto mismo es mas importante para el éxito del proceso industrial.

**Transductor de temperatura, termistor:** Resistor, hecho de un semiconductor, cuya resistencia depende de la temperatura.

**Transductor de temperatura, termopar:** es la unión entre dos metales distintos para producir un voltaje que depende de la temperatura de la unión.

**Transductor del flujo de fluidos:** El flujo de un fluido en una tubería puede monitorearse mediante la presión diferencial detectada a través de un orificio o una malla en red. El flujo de un fluido también puede medirse por medio de una turbina instalada en la corriente. La velocidad de rotación de la turbina puede ser medida en forma digital para determinar la velocidad del flujo.

**Transductor pasivo:** Detector que registra radiación natural o perturbaciones de radiación, pero que no emite la radiación en la cual se basa su operación.

**Vástago:** Varilla, barra que transmite el movimiento a algún mecanismo

## BIBLIOGRAFÍA

### Capítulo 1

- [1] Enciclopedia SALVAT, Salvat Editores S.A. Barcelona 1986 Tomo 3.
- [2] <http://www.juanvaldez.com/espanol/menu/index.html>.
- [3] Santoyo Cortés, Horacio, S. Díaz Cárdenas y B. Rodríguez P. 1995. Sistema agroindustrial café en México. Universidad Autónoma Chapingo. México. 176 p
- [4] [http://meted.uca.edu/hurricane/strike\\_es/text/images/worldmap.jpg](http://meted.uca.edu/hurricane/strike_es/text/images/worldmap.jpg)
- [5] [www.guiamiguelin.com/café](http://www.guiamiguelin.com/café)
- [6] [www.guiamiguelin.com/café](http://www.guiamiguelin.com/café)
- [7] <http://www.juanvaldez.com/espanol/menu/index.html>
- [8] Sagar, 1999. Consejo Mexicano del Café. Claridades Agropecuarias, pag. 10- 25.
- [9] Sagar, 1999. Consejo Mexicano del Café. Claridades Agropecuarias, pag. 10- 25.
- [10] Fuente: SAGAR.1999. Centro de Estadística Agropecuaria. Claridades Agropecuarias. Página 5.

### Capítulo 2

- [1] Henry A. Perkins. Física general. México. Ed. Prentice Hall.
- [2] Contreras C. Enrique. Física Elemental. México. Ed. Herrero S. A.
- [3] Graf Rudolf F. Diccionario moderno de electrónica. Tomo I Ed. Prentice Hall.
- [4] Kraus Milton N. Pneumatic Conveing of Bulk Materials Edit. Mac Graw Hill
- [5] Enrique Cancer Royo, Fundamentos de Neumática Editorial Paraninfo S.A.
- [6] Enrique Cancer Royo, Fundamentos de Neumática Editorial Paraninfo S.A.
- [7] Manual De Automatización de FESTO

[8] Librería de información Fluid Sim 2000

[9][http://www.norgren.com/document\\_resources/PDF\\_links/product\\_literature/brochures/airline/es\\_clean\\_compressed\\_air.pdf](http://www.norgren.com/document_resources/PDF_links/product_literature/brochures/airline/es_clean_compressed_air.pdf)

[10][http://www.norgren.com/document\\_resources/PDF\\_links/product\\_literature/brochures/airline/es\\_clean\\_compressed\\_air.pdf](http://www.norgren.com/document_resources/PDF_links/product_literature/brochures/airline/es_clean_compressed_air.pdf)

[11] Manuales de Automatización de FESTO

[12] <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica14.htm>

[13] <http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica14.htm>

### **Capítulo 3**

[1] Manuales de automatización Festo “Electro hidráulica”

[2] Presentaciones de automatización Festo

[3] Manuales de automatización Mitsubishi.

[4] Manuales de automatización Festo Computadores lógicos programables 2004

[5] Manuales de automatización Festo Computadores lógicos programables 2004

### **Capítulo 4**

[1] Mapas enciclopedia Encarta 2007

### **Capítulo 5**

[1][http://www.festo.com/INetDomino/coorp\\_sites/es/160666a440269f51c1256b82004afc70.htm](http://www.festo.com/INetDomino/coorp_sites/es/160666a440269f51c1256b82004afc70.htm)