



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE
DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN
CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE**

Pablo Sebastian Recinos Reyes

Asesorado por el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, noviembre de 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE
DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN
CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

PABLO SEBASTIAN RECINOS REYES
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez
EXAMINADOR	Ing. Byron Giovanni Palacios Colindres
EXAMINADOR	Ing. Irvin William Jones Aguilar
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 15 de marzo de 2011.



Pablo Sebastian Reyes

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

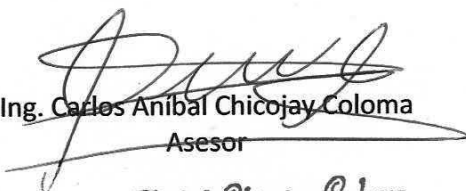
Guatemala 9 de julio de 2012

Ing. Julio Cesar Campos Paiz
Director
Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Campos:

Por medio de la presente informo a usted que como asesor he revisado el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE** del estudiante Pablo Sebastian Recinos Reyes, con carné 200512042.

En tal virtud lo doy por aprobado, atentamente.


Ing. Carlos Anibal Chicojaj Coloma
Asesor

Carlos Anibal Chicojaj Coloma
INGENIERO MECANICO
Colegiado No. 2306

cc. Archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Coordinador del Área Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS, ASISTIDOS POR UN CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE**, del estudiante **Pablo Sebastian Recinos Reyes**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, julio de 2012 .

/behdei.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con la aprobación del Coordinador del Área Complementaria al Trabajo de Graduación titulado **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE** del estudiante **Pablo Sebastian Recinos Reyes**, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio César Campos Paiz
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2012

JCCP/behdei

Universidad de San Carlos
De Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.566.2012

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE PRENSAS TROQUELADORAS DE DUCTOS ELÉCTRICOS, POR MEDIO DE CIRCUITOS NEUMÁTICOS ASISTIDOS POR UN CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE**, presentado por el estudiante universitario **Pablo Sebastian Recinos Reyes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
Decano



Guatemala, noviembre de 2012

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por acompañame en cada momento de mi vida y por permitir que alcanzara este triunfo.
Santa Virgen María	Por guiame en los momentos más difíciles de mi vida.
Mis padres	Leonardo Roger Recinos y María Antonieta Reyes de Recinos, por creer en mí y por todo el apoyo que me han brindado, para alcanzar este triunfo que también es suyo.
Mis hermanos	Leonardo, Alejandra y María Recinos, por acompañame en todo momento de mi formación como profesional.
Mi familia	Rolando, Karen y Erick Guzmán, mi eterna gratitud por todo el cariño y el apoyo incondicional que me brindaron.
Mis amigos	Por el apoyo que me brindaron en todos los momentos que compartimos, por la amistad que ha perdurado desde antes de empezar mi formación profesional.

AGRADECIMIENTOS A:

Mi asesor

Ing. Carlos Chicojay por los consejos y apoyo en la realización de este trabajo.

**Facultad de
Ingeniería**

En especial a la Escuela de Ingeniería Mecánica, por mi formación.

**Universidad de
San Carlos de
Guatemala**

Por ser la casa de estudios donde se forman los mejores profesionales de Guatemala.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XII
RESUMEN	XV
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE NEUMÁTICA.....	1
1.1. Definición de neumática	1
1.2. Fundamentos de neumática	2
1.3. El aire comprimido.....	5
1.4. Fundamentos físicos.....	5
1.5. Elementos de accionamiento.....	6
1.5.1. Comando directo.....	6
1.5.2. Comando indirecto	7
1.5.3. Tipos de accionamiento y comandos.....	7
1.6. Fuentes de aire comprimido	7
1.6.1. Compresores.....	8
1.6.2. Métodos de compresión	9
1.6.3. Tipos de compresores	10
1.6.3.1. Compresores de émbolo o pistón.....	11
1.6.3.2. Compresor de émbolo rotativo	13
1.6.3.3. Compresor de diafragma (membrana)....	14
1.6.3.4. Compresor de paletas deslizantes.....	14
1.6.3.5. Compresor de pistón líquido.....	15

	1.6.3.6.	Compresor de tornillo rotativo.....	16
	1.6.3.7.	Compresor de lóbulos rectos (Roots).....	17
	1.6.3.8.	Turbocompresores	18
	1.6.3.9.	Compresor axial.....	18
	1.6.3.10.	Compresor radial	19
	1.6.3.11.	Compresor de flujo mixto.....	20
	1.6.3.12.	Eyectores	21
1.7.		Elementos de distribución.....	22
	1.7.1.	Válvulas generalidades.....	22
	1.7.2.	Clasificación de las válvulas	24
	1.7.2.1.	Válvulas distribuidoras.....	24
	1.7.3.	Unidad de mantenimiento.....	30
	1.7.3.1.	Filtros de aire.....	32
	1.7.3.2.	Lubricado de aire comprimido	38
1.8.		Secadores.....	41
	1.8.1.	Secado por absorción.....	41
	1.8.2.	Secado por adsorción.....	42
	1.8.3.	Secado por enfriamiento	43
2.		DEFINICIÓN DE AUTOMÁTA.....	45
	2.1.	Definición de autómeta.....	45
	2.1.1.	Sistema de control.....	45
	2.1.2.	Automatismo analógicos y digitales.....	46
	2.2.	Estructura de los autómetas	48
	2.2.1.	El autómeta programable.....	48
	2.3.	Direccionamiento del autómeta.....	51
	2.3.1.	Capacidades del autómeta	52
	2.3.2.	Direccionamiento de entradas y salidas	54
	2.3.3.	Tipos y estados de señales.....	55

2.4.	Sistema operativo.....	56
2.4.1.	Tipo de operación.....	57
2.4.2.	Funcionamiento.....	59
2.4.3.	Sistema de revisión.....	61
2.5.	Funciones lógicas.....	62
2.5.1.	Función de negación.....	63
2.5.2.	Función de conjunción.....	64
2.5.3.	Función de disyunción.....	66
2.6.	Lenguajes de programación.....	67
2.6.1.	Tipos de lenguaje de programación.....	68
2.6.2.	Diagramas de bloques.....	68
2.6.3.	Diagrama de escalera.....	70
2.6.3.1.	Bloques de función del LD.....	72
3.	FASE DE INVESTIGACIÓN.....	75
3.1.	Inspección y análisis de la maquinaria.....	75
3.2.	Descripción Actual del proceso de troquelado.....	77
3.2.1.	Corte de lámina.....	77
3.2.2.	Troquelado de esquinas.....	78
3.2.3.	Troquelado del segmento medio del cuerpo del ducto.....	78
3.2.4.	Doblado de lámina.....	79
3.2.5.	Prensado de pestaña.....	79
3.2.6.	Doblado de lámina.....	79
3.2.7.	Doblado de pestañas.....	80
3.3.	Análisis de las características de funcionamiento de cada máquina.....	80
3.3.1.	Cizallado.....	81
3.3.2.	Guillotina.....	81

3.3.3.	Troquelado.....	83
3.3.4.	Acción de cizallamiento en operaciones de corte por troquel.....	84
3.3.5.	Prensas mecánicas.....	85
3.3.6.	Punzonado.....	88
3.3.7.	Doblado.....	89
3.3.7.1.	Radio de curvatura.....	89
3.3.7.2.	Tolerancias para doblado.....	89
3.3.8.	Prensado.....	90
3.4.	Evaluación del proceso actual de las máquinas.....	91
3.4.1.	Corte de lámina.....	91
3.4.2.	Troquelado de esquinas.....	92
3.4.3.	Punzonado.....	92
3.4.4.	Troquelado de Segmento medio.....	92
3.4.5.	Doblado de lámina.....	92
3.5.	Establecer los factores a considerar para la utilización de los elementos de un sistema secuencial neumático.....	93
3.5.1.	Ventajas.....	93
3.5.2.	Limitaciones.....	94
3.6.	Establecer los factores a considerar para la correcta selección de autómatas.....	95
3.6.1.	Factores cuantitativos.....	95
3.6.2.	Entradas / salidas (E/S).....	96
3.6.3.	Tipo de control.....	97
3.6.4.	Memoria.....	98
3.6.5.	Sistema operativo.....	99
3.6.6.	Periféricos.....	100
3.6.7.	Físicos y ambientales.....	101
3.6.8.	Factores cualitativos.....	101

3.6.9.	Ayudas al desarrollo del programa.....	102
3.6.10.	Fiabilidad del producto.....	103
3.6.11.	Servicio del suministrador	103
3.6.12.	Normalización en planta.....	104
4.	DISEÑO DE SISTEMA NEUMÁTICO ASISTIDO POR UN AUTÓMATA.....	107
4.1.	Diseño de circuitos secuenciales neumáticos	107
4.2.	Selección de elementos neumáticos a utilizar.....	113
4.2.1.	Guillotina	114
4.2.2.	Troquelado de esquinas.....	117
4.2.3.	Punzonado de lámina	119
4.2.4.	Troquelado de segmento medio.....	121
4.2.5.	Doblado de lámina.....	123
4.3.	Selección del tipo de autómata a utilizar	124
4.4.	Diseño de la red de distribución de aire comprimido.....	126
4.4.1.	Presión máxima del sistema.....	126
4.4.2.	Flujo máximo del sistema.....	126
4.4.3.	Longitudes equivalentes para accesorios.....	128
4.4.4.	Volumen de almacenaje.....	128
4.4.5.	Longitud total de la localización de la maquinaria en la planta de producción.....	130
4.4.6.	Cálculo de tubería.....	130
4.4.7.	Cálculo de valvulería y accesorios.....	134
4.4.8.	Cálculo de soportes para tubería, según distancia..	134
4.5.	Análisis del proceso para la maquinaria.....	135
4.5.1.	Corte de lámina.....	136
4.5.2.	Troquelado de esquinas.....	136
4.5.3.	Punzonado de lámina	136

4.5.4. Troquelado de segmento medio..... 136

4.5.5. Doblado de lámina..... 137

CONCLUSIONES..... 139

RECOMENDACIONES..... 141

BIBLIOGRAFÍA..... 143

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tipos de compresores.....	11
2.	Imagen compresor émbolo oscilante.....	12
3.	Compresor de paletas deslizantes.....	15
4.	Compresor de flujo axial.....	19
5.	Compresor de flujo radial.....	20
6.	Representación de válvulas.....	25
7.	Representación de posiciones.....	26
8.	Representación de funcionamiento.....	26
9.	Representación de sentido de flujo.....	27
10.	Representación de cierre de flujo.....	27
11.	Representación de válvula en reposo.....	28
12.	Representación de conductos de escape.....	29
13.	Conductos de escape.....	29
14.	Unidad de mantenimiento.....	31
15.	Filtro finísimo de aire comprimido.....	33
16.	Filtro de aire comprimido con regulador de presión.....	36
17.	Lubricador de aire comprimido.....	40
18.	Diagrama de bloques de la estructura de un autómata programable.....	51
19.	Ciclo operativo del PLC.....	58
20.	Diagrama eléctrico de una función NOT.....	63
21.	Símbolo lógico función NOT.....	64
22.	Diagrama eléctrico de una función AND.....	65

23.	Símbolo lógico función AND.....	66
24.	Diagrama eléctrico de una función OR.....	66
25.	Símbolo lógico función OR.....	67
26.	Diagrama de bloque de funciones.....	69
27.	Bloque de función.....	69
28.	Estructura básica de un reglón del diagrama de escalera.....	70
29.	Conexiones lógicas en el diagrama de escalera.....	72
30.	Bloque de función dentro del diagrama de escalera.....	73
31.	Parte frontal de la guillotina.....	83
32.	Parte frontal de troqueladora de esquinas.....	87
33.	Parte frontal de troqueladora de segmento medio.....	87
34.	Parte frontal de troqueladora de punzonado.....	88
35.	Parte frontal de troqueladora para doblado de lámina.....	90
36.	Parte frontal de troqueladora para prensado.....	91
37.	Guillotina con sistema neumático.....	107
38.	Accionador de troqueladora con sistema neumático.....	108
39.	Punzonado de lámina con cilindros neumáticos prensa lámina.....	108
40.	Corte de esquinas con cilindros neumáticos prensa lámina.....	109
41.	Corte de segmento medio con cilindros neumáticos prensa lámina.....	110
42.	Diagrama secuencial neumático para la guillotina.....	110
43.	Diagrama secuencial neumático para troqueladoras.....	111
44.	Diagrama secuencial neumático para dobladora.....	112
45.	Red de aire comprimido propuesta.....	131
46.	Plano diseño de aire comprimido.....	132

TABLAS

I.	Prescripciones de trabajo por etapas de compresores oscilantes	13
II.	Características de los autómatas atendiendo a su modularidad...	49
III.	Tabla de la verdad para función NOT.....	64
IV.	Tabla de la verdad de función AND.....	65
V.	Tabla de la verdad para función OR.....	67
VI.	Elementos básicos del diagrama de escalera.....	71
VII.	Total de pies ³ /minuto requerido de cada máquina.....	127
VIII.	Longitud de tubería equivalente para accesorios y válvulas	128
IX.	Presión barométrica.....	129
X.	Longitud de tubería.....	130
XI.	Diámetros de tuberías.....	133
XII.	Longitudes de soportes de tubería.....	135

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
s	Ciclos por minuto
V	Consumo de aire
D	Diámetro del émbolo
d	Diámetro del vástago
F_R	Fuerza de rozamiento
F_n	Fuerza eféctiva del émbolo
F_t	Fuerza teórica
lb	Libra
n	Longitud de carrera del émbolo
π	Número pi equivalente a 3,1416
Cfm	Pies cúbicos por minuto
A	Superficie útil del émbolo

GLOSARIO

Autómata	Máquina que imita los movimientos de un ser animado por medio de un sistema de control.
Axial	Determinar el sentido de acción de fuerza o energía, el cual se determina paralelo al eje del objeto.
Bit	Unidad elemental de información que sólo puede tener dos valores distintos cero o uno.
Carcasa	Tapadera que sirve para proteger sistemas mecánicos
Centrífugo	Someter los elementos a una separación del centro de un eje por efecto de una fuerza externa.
Deflagración	Término de una acción, explosión violenta.
Émbolo	Disco que se desplaza alternativamente en el cuerpo de un cilindro de un elemento de acción en un sistema neumático.
Fuelle	Instrumento utilizado para recoger aire y lanzarlo en una dirección determinada, también llamado soplador.
Hermetismo	Que no deja pasar nada hacia fuera ni hacia dentro de un sistema.

Interfase	Límite entre dos sistemas o unidades que hace posible un intercambio de información.
Mordazas	Es un herramienta que mediante un mecanismo neumático permite sujetar por presión el producto de manera continua.
PLC	Es la unidad de control, incluyendo total o parcialmente las interfaces con las señales del proceso.
Sistema de control	Gobierna la respuesta de la planta sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida.

RESUMEN

Con el objetivo de mejorar un proceso de producción de ductos eléctricos con la tecnología utilizada en la automatización neumática que en la actualidad se va incorporando con mayor tendencia en la industria guatemalteca, se ha propuesto realizar el estudio de la automatización de prensas troqueladoras de ductos eléctricos, por medio de circuitos neumáticos, asistidos por un control lógico programable.

Para iniciar este trabajo de graduación, en el primer capítulo se presentan los concepto y definiciones de los equipos y elementos que se utilizan en la industria para los distintos procesos de producción y los que se utilizaran para nuestro caso. Uno de los conceptos más utilizados es el de la neumática, su generación, almacenaje y utilización. La automatización tiene como objetivo efectuar un trabajo en la planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida.

El segundo capítulo se encuentra un estudio sobre los controles lógicos programables, su aplicación, el tipo de estructura que poseen, además de las capacidades que estos pueden tener, uno de los temas que se considera es el de la programación de estos autómatas, el tipo de lenguaje que se emplea, puesto que será necesario contar con todas esta información para la correcta selección del autómata que gobernara el circuito neumático propuesto.

El tercer capítulo, se establece la fase de investigación del proceso de producción de ductos eléctricos, así como el tipo de maquinaria y sus funciones, además se realiza un análisis e inspección del funcionamiento de cada

máquina y así establecer el tipo de circuito neumático y los elementos que se van a utilizar.

En el cuarto y último capítulo, se presentan las propuestas de los circuitos secuenciales neumáticos, los elementos que se deben utilizar, además se presenta el diseño de la red de aire comprimido que puede utilizarse en la planta y sus accesorios.

JUSTIFICACIÓN

Los estudiantes de Ingeniería Mecánica se encuentran constantemente dentro de áreas relacionadas a la automatización de máquinas y del desarrollo de la tecnología en elementos de automatización de plantas industriales, es por esto necesario realizar estudios para la utilización de estas tecnologías y así contar con las herramientas necesarias para la correcta selección y aplicación de estos elementos.

Entre los objetivos de este trabajo, está desarrollar un proyecto con el cual se pretende que la empresa adquiera beneficios como la simplificación del trabajo en los procesos de producción, aumento de la eficiencia en la planta, disminución de piezas defectuosas, mayor calidad, disminución de accidentes, incremento de la productividad y competitividad.

Este trabajo además busca ser una herramienta para la aplicación y diseño de sistemas de automatización en proyectos futuros, puesto que en la actualidad existe una gran demanda de profesionales con conocimientos acerca de las herramientas para el control y mejora de los procesos industriales; Dentro de la industria Guatemalteca existen distintas áreas de trabajo en donde se pueden mencionar: embotelladoras, empacadoras, cementeras, industria

azucarera, ensambladoras de partes, industria del plástico, plantas de producción en general.

OBJETIVOS

General

Realizar el estudio que involucre los parámetros para la automatización de un proceso de producción de ductos eléctricos, por medio de circuitos secuenciales neumáticos asistidos por un control lógico programable.

Específicos

1. Realizar el estudio de las variables y elementos de la maquinaria, para la aplicación de sistemas neumáticos.
2. Establecer las consideraciones y criterios que se deben tomar para la selección y control de un control lógico programable.
3. Optimización de la maquinaria y los equipos actuales, de modo que los procesos de producción sean más eficientes.
4. Presentar una guía de referencia que proporcione una ayuda para la selección adecuada de los elementos neumáticos, así como de los controles lógicos programables.
5. Establecer los factores y criterios para el diseño de una red de distribución de aire comprimido.

INTRODUCCIÓN

La automatización industrial es un tema amplio y de suma trascendencia en el desarrollo e innovación de la industria en el país. En las últimas décadas se ha seguido la tendencia de automatizar de manera progresiva los procesos productivos de todo tipo; esto con el fin de mejorar la productividad de la empresa, las condiciones de trabajo del personal, la disponibilidad de los productos y simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera de grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo, entre otros.

Esta tendencia ha sido y sigue siendo posible gracias al constante desarrollo y eficiencia productiva de la tecnología empleada; es por esto que es necesario desarrollar los conocimientos para controlar los procesos de automatización, a fin de garantizar una correcta utilización de equipo y selección de herramientas para el control de procesos.

El presente trabajo pretende realizar el estudio para la automatización de prensas troqueladoras de uso industrial basándose en las diferentes tecnologías adquiridas a lo largo de la carrera de Ingeniería Mecánica, que constituyen las bases primordiales para el mejoramiento y automatización de los procesos de producción de una empresa.

Las prensas para troquelado cuentan con sistemas manuales de alimentación, accionamiento y alineación del material, procesos que conllevan a una gran pérdida de tiempo y altos costos, además de generar situaciones riesgosas para los operarios al momento de realizar operaciones de trabajo.

Son estas razones las que conllevan a la búsqueda de nuevos procedimientos de trabajo, teniendo como la mejor opción la automatización de procesos mediante el diseño de una red de distribución de aire comprimido y la utilización de circuitos secuenciales neumáticos asistido por un control lógico programable.

1. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE NEUMÁTICA

1.1. Definición de neumática

Neumática es la rama de la técnica que se dedica al estudio y aplicaciones prácticas del aire comprimido como modo de transmisión de la energía necesaria para mover y hacer funcionar mecanismos; es una fuente de energía de fácil obtención y tratamiento para el control de máquinas y otros elementos sometidos a movimiento. La generación, almacenaje y utilización del aire comprimido resultan relativamente baratos, y además ofrece un índice de peligrosidad bajo en relación a otras energías como la electricidad y los combustibles gaseosos o líquidos. Ofrece una alternativa altamente segura en lugares de riesgo de explosión por deflagración, donde otras energías suponen un riesgo importante por la producción de calor, chispas, etc.

Actualmente, muchos son los sistemas técnicos que basan su funcionamiento en este tipo de energía. Por ejemplo: las puertas de algunos autobuses y trenes se accionan con aire comprimido; en la industria son muy útiles los sistemas neumáticos porque proporcionan movimiento lineal y desarrollan grandes fuerzas; utilizándose para empujar y levantar cargas pesadas, en cadenas de montaje automatizado, etc.

En los sistemas neumáticos, el aire comprimido se produce en un elemento llamado compresor, que es una bomba de aire comprimido accionada normalmente por un motor eléctrico. Este aire se almacena en un depósito denominado receptor. Desde éste, el aire es conducido a través de válvulas a los cilindros, que son los componentes encargados de realizar el trabajo.

Cuando el aire comprimido fluye en el interior de un cilindro, aumenta la presión y obliga a desplazarse a un émbolo situado en su interior, y proporcionando un movimiento lineal y realizando un trabajo. Las válvulas tienen como misión controlar el flujo de aire comprimido que entra y sale de los cilindros. Las válvulas son los elementos de control del circuito.

1.2. Fundamentos de neumática

El término neumática proviene del griego *pneuma*, que significa aliento o soplo, aunque este debe aplicarse en general al estudio del comportamiento de los gases, este término se ha adecuado para comprender casi exclusivamente los fenómenos de aire comprimido o sobre presión (presión por encima de una atmósfera) para producir un trabajo.

La revolución industrial del siglo XIX supuso la sustitución del trabajo humano o animal mediante maquinaria u otras formas técnicas, con el fin de hacer más trabajo en menos tiempo y con menor esfuerzo. Esta maquinaria u otras formas técnicas, desde el punto de vista energético, supone transformar un determinado tipo de energía en energía mecánica, es decir, producir unos determinados movimientos, en unos determinados instantes de tiempo.

Para ello cualquier tipo de maquinaria o proceso industrial requiere que una parte de la energía que toma la máquina se transforme en energía de potencia (producir movimientos), y otra parte es destinada a los sistemas de información y mando, que produce en la máquina o proceso el control de movimiento, tanto en cantidad como espacialmente y temporalmente.

Así, como ejemplo, una cortadora de planchas requiere bajar la cuchilla y cortar (producir el movimiento), cuando exista una plancha y se encuentre en la posición adecuada (mediatizando por el sistema de mando y control).

A nivel histórico, tanto las máquinas como el proceso eran totalmente mecánicos, así la provisión energética era de tipo mecánico, un motor térmico (motores de vapor) era conectado a un eje en donde unas poleas, ejes y correas transmitían el movimiento al resto de maquinaria (energía de potencia) y mediante excéntricas, levas, bielas, reductores y transmisiones (sistemas de mando y control) producían los movimientos requeridos en las diferentes máquinas (trabajo mecánico, movimientos adecuados). Estos sistemas eran totalmente mecánicos, con dos grandes inconvenientes, uno que todo el sistema poseía gran masa, y por tanto las energías necesarias para poner en marcha y para estos sistemas era muy elevada al poseer fuertes fuerzas de inercia, y el otro que cuando se tenía que cambiar el tipo de movimiento, era muy costoso, debido a la construcción, del nuevo sistema de mando y control, y su montaje, que suponía para la producción durante un elevado período de tiempo.

A finales del siglo XIX y principios del siglo XX, los sistemas clásicos puramente mecánicos, pasaron a ser sistemas eléctricos, en donde la provisión energética del tipo eléctrica (motor eléctrico, electroimanes elevadores, motores eléctricos lineales, etc.) y mediante contactores y relés de mando (sistemas de mando y control) producían los movimientos requeridos en las diferentes máquinas (trabajo mecánico movimientos adecuados). El inconveniente de estos sistemas eléctricos es el bajo par de los motores eléctricos y la costosa transformación de movimientos angulares a movimientos lineales.

A partir de la Segunda Guerra Mundial de mediados del siglo XX, y la acuciante necesidad bélica de automatizar la industria para adecuarla a grandes producciones, reaparecen los sistemas neumáticos e hidráulicos que se utilizaron puntualmente a través de la historia. Los sistemas neumáticos se utilizan para bajas cargas y altas velocidades de trabajo, y los hidráulicos para cargas altas y velocidades de trabajo bajas.

Ambos sistemas se basan que a través de una provisión energética, generalmente mecánica, transformamos la energía, en energía de presión de un fluido (aire o aceite), éste es dirigido a las máquinas, y transforman la energía de presión del fluido en trabajo mecánico a través de unos elementos denominados actuadores, y es controlado y comandado por un sistema de válvulas (sistema de mando y control). Estos sistemas son muy versátiles, con pares elevados y facilidad de transformación de movimientos, son los sistemas que actualmente añadiéndole toda la versatilidad de los sistemas eléctricos y electrónicos combinados, Con los que se consigue una significativa automatización de máquinas y procesos.

La primera persona en generar aire comprimido con fines tecnológicos fue el francés Denis Papin, en 1700, mediante un molino de agua. Este aire no tuvo una utilidad demasiado clara desde su descubrimiento hasta que George Medhurst (inventor británico), diseñó un motor que utilizaba el aire comprimido o energía neumática como combustible. Aunque este invento no tuvo demasiada trascendencia, posteriormente aparecieron dos nuevas aplicaciones para la energía neumática.

Una de estas invenciones fue el taladro de roca, por parte del inventor británico George Law en 1865. El taladro de roca de Law tuvo un papel importante en los años posteriores a su invención, ya que fue una herramienta esencial en la construcción de dos de los túneles más importantes de aquella época: el túnel ferroviario de Mont Cenis, en los Alpes, y el de Hossac, en Massachusetts. El segundo invento se produjo tres años después del taladro de Law (1868), y consistió en el antiguo freno para trenes. Su inventor fue el estadounidense George Westinghouse.

1.3. El aire comprimido

Es el fluido que utiliza la neumática, es una de las formas de período más antiguas utilizadas por el hombre. Su utilización se remonta al período Neolítico, cuando aparecieron los primeros fuelles de mano, para avivar el fuego de fundiciones o para airear minas de extracción de minerales.

Desde el siglo I hasta el siglo XVII de la presente era, la utilización del aire a presión como energía, se realizó puntualmente para diversas máquinas y mecanismos; tales como: la catapulta de aire comprimido del griego *Ktesibios*, o la descripción en el siglo I de esta era de diversos mecanismos que son accionados por aire caliente.

A partir del siglo XVII se comienza el estudio sistemático de los gases, y con ello, comienza el desarrollo tecnológico de las diferentes aplicaciones del aire comprimido; así, en el siglo XVII se construye el primer compresor alternativo, en el XIX, se utiliza como fuente energética para perforadoras de percusión, para sistemas de correos, para frenos de trenes, ascensores, etc.. A finales del siglo XIX se deja de desarrollar debido a la competencia de otros tipos de energía (máquinas de vapor, motores y electricidad). A finales de la Segunda Guerra Mundial, reaparece de nuevo la utilización a gran escala del aire comprimido como fuente de energía, debido sobre todo, a las nuevas exigencias de automatización y racionalización del trabajo en las industrias. Estando actualmente ampliamente implantado en todo tipo de industrias.

1.4. Fundamentos físicos

La superficie del globo terrestre está entre una envoltura aérea. Ésta es una mezcla indispensable para la vida y tiene la siguiente composición:

Nitrógeno aprox. 78% en volumen

Oxígeno aprox. 21% en volumen

Además, contiene trazas de bióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

Para una mejor comprensión de las leyes y comportamiento del aire se indican en primer lugar las magnitudes físicas y su correspondencia dentro del sistema de medidas. Con el fin de establecer aquí relaciones inequívocas y claramente definidas, los científicos y técnicos de la mayoría de los países están en vísperas de acordar un sistema de medidas que sea válido para todos, denominado Sistema internacional de medidas, o abreviado SI.

1.5. Elementos de accionamiento

Las válvulas requieren un agente externo o interno que mueva sus partes interiores de una posición a otra, en otros términos, que altere las direcciones del flujo, efectúe los bloqueos y produzca la liberación de los escapes.

Los elementos responsables de tales alteraciones son los accionadores, que pueden clasificarse en:

- Comando directo
- Comando indirecto

1.5.1. Comando directo

Se define así cuando la fuerza de accionamiento interviene directamente sobre cualquier mecanismo que cause la inversión de la válvula.

1.5.2. Comando indirecto

Se define así cuando la fuerza de accionamiento actúa sobre cualquier dispositivo intermedio, el cual libera el comando principal que, a su vez, es responsable por la inversión de la válvula.

Estos accionamientos son también llamados de combinación, servo.

1.5.3. Tipos de accionamiento y comandos

Los tipos de accionamientos son diversos y pueden ser:

- Musculares
- Mecánicos
- Neumáticos
- Eléctricos
- Combinados

Estos elementos son representados por símbolos normalizados y son escogidos conforme a la necesidad de la aplicación de la válvula direccional.

1.6. Fuentes de aire comprimido

El aire comprimido puede producirse mediante dos procesos:

- Compresión dinámica (conversión de la velocidad del aire en presión): compresores radiales y axiales.

- Compresión por desplazamiento (reducción del volumen de aire): compresores alternativos (de tipo pistón) y compresores rotativos (compresores helicoidales, de paletas, *roots* o de anillo líquido).

1.6.1. Compresores

Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores. El aire comprimido viene de la estación compresora y llega a las instalaciones a través de tuberías.

La compresión se realiza con diversos propósitos, entre los cuales están los siguientes:

- Transmisión de potencia.
- Alimentación de un proceso de combustión.
- Transporte y distribución de gas.
- hacer circular un gas a través de un proceso de sistema.
- obtención de condiciones más favorables en una reacción química.
- Obtención y mantenimiento de niveles de presión reducidos mediante la remoción de gases del sistema.

En el momento de la planificación es necesario prever un tamaño superior de la red, con el fin de poder alimentar aparatos neumáticos nuevos que se adquieran en el futuro. Por ello, es necesario sobredimensionar la instalación, el objetivo es que el compresor no resulte más tarde insuficiente, puesto que toda ampliación posterior en el equipo generador supone gastos muy considerables.

Es muy importante que el aire sea puro. Si es puro el generador de aire comprimido tendrá una larga duración. También debería tenerse en cuenta la aplicación correcta de los diversos tipos de compresores.

1.6.2. Métodos de compresión

Se utilizan cuatro métodos para comprimir un gas. Dos son de flujo intermitente o de desplazamiento positivo y los otros dos son de flujo continuo.

Desplazamiento positivo (flujo intermitente):

- Atrapar cantidades consecutivas de gas en una cámara, reducir el volumen (incrementando así la presión) y empujar luego el gas comprimido fuera de la cámara.
- Atrapar cantidades consecutivas de gas en un espacio cerrado, trasladarlo sin cambio de volumen a la descarga de un sistema de alta presión y comprimir el gas por el contra flujo del sistema de descarga; finalmente, empujar el gas comprimido fuera de la cámara.

Flujo continuo:

- Compresores dinámicos.
- Comprime el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas en rápida rotación, el cual imparte velocidad y presión al gas que está fluyendo (la velocidad se convierte en presión en difusores estacionarios o paletas).

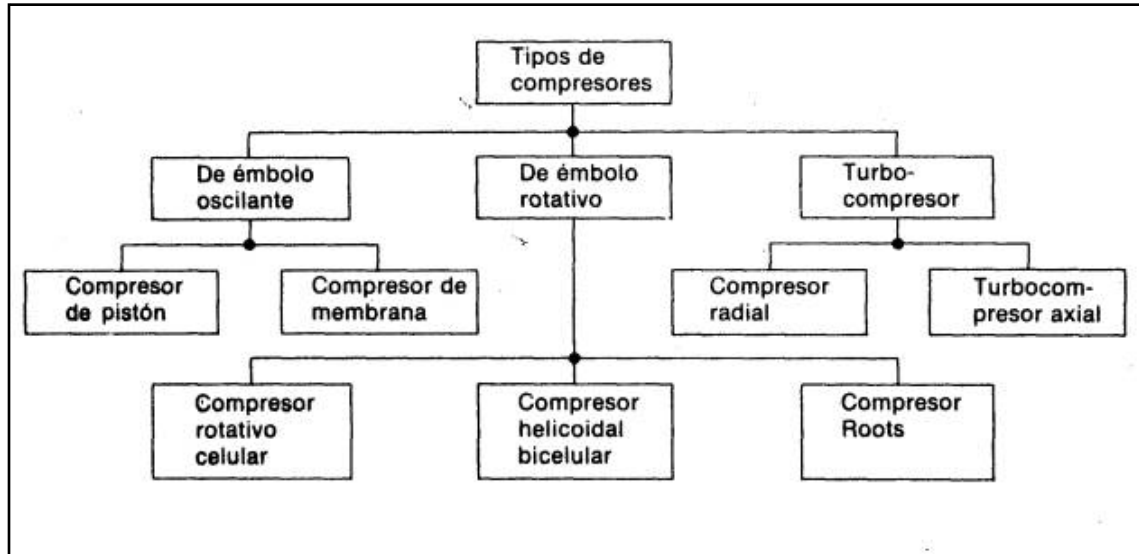
- Eyectores.
- Utilizan un chorro de gas o vapor que arrastre el gas a comprimir para luego convertir la alta velocidad de la mezcla en presión en un difusor localizando corriente abajo. Los eyectores normalmente operan con una presión de admisión inferior a la atmosférica.

1.6.3. Tipos de compresores

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcción. Se distinguen dos tipos básicos de compresores:

- El primero trabaja según el principio de desplazamiento, la compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).
- El segundo trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

Figura 1. Tipos de compresores



Fuente: Manual del profesional del aire comprimido, aire comprimido. p. 3.

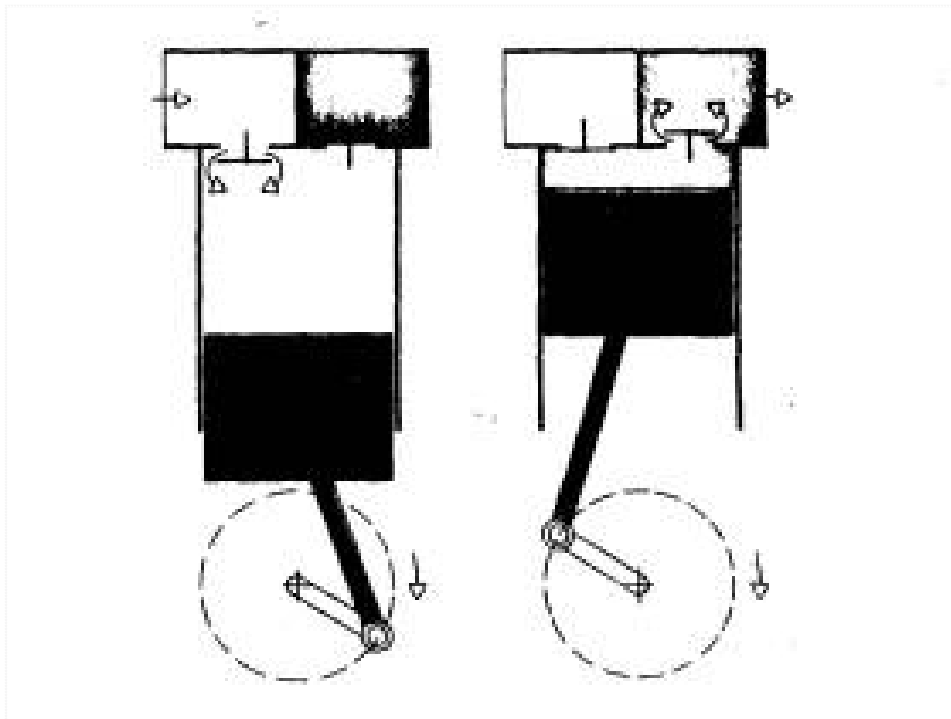
1.6.3.1. Compresores de émbolo o pistón

Compresor de émbolo oscilante: éste es el tipo de compresor más difundido actualmente. Es apropiado para comprimir a baja, media o alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 1,100 KPa (1 bar) a varios miles de KPa (bar).

Este compresor funciona con base en un mecanismo de excéntrica que controla el movimiento alternativo de los pistones en el cilindro. Cuando el pistón hace la carrera de retroceso aumenta el volumen de la cámara, aumentando el volumen de la cámara, por lo que disminuye la presión interna, esto a su vez provoca la apertura de la válvula de admisión permitiendo la entrada de aire al cilindro. Una vez que el pistón ha llegado al punto muerto inferior inicia su carrera ascendente, cerrándose la válvula de aspiración y

disminuyendo el volumen disponible para el aire, esta situación origina un aumento de presión que, finalmente abre la válvula de descarga permitiendo la salida del aire comprimido, ya sea una segunda etapa o bien al acumulador.

Figura 2. **Imagen compresor émbolo oscilante**



Fuente: ABRAHAM, Robert W. Compresores y Bombas. p. 9.

Es el compresor más difundido a nivel industrial, dada su capacidad de trabajar en cualquier rango de presión. Normalmente se fabrican de una etapa hasta presiones de 5 bar, de dos etapas para presiones de 5 a 10 bar y para presiones mayores, 3 o más etapas. Algunos fabricantes ya están usando tecnología denominada libre de aceite; es importante indicar que, sus compresores no utilizan aceite, lo que los hace muy apetecibles para la industria química farmacéutica y hospitales.

Para obtener el aire a presiones elevadas, es necesario disponer de varias etapas compresoras. El aire aspirado se somete a una compresión previa por el primer émbolo, seguidamente se refrigera, para luego ser comprimido por el siguiente émbolo. El volumen de la segunda cámara de compresión es, en conformidad con la relación, más pequeño. Durante el trabajo de compresión se forma una cantidad de calor que tiene que ser evacuada por el sistema de refrigeración.

Los compresores de émbolo oscilante pueden refrigerarse por aire o por agua, y según las prescripciones de trabajo; las etapas que se precisan son:

Tabla I. **Prescripciones de trabajo por etapas de compresores oscilantes**

hasta	400 KPa (4 bar)	1 etapa
hasta	1 500 KPa (15 bar)	2 etapas
más de	1 500 KPa (15 bar)	3 etapas o más
No resulta siempre económico, pero también pueden utilizarse		
de 1 etapa	hasta	1 200 KPa (12 bar)
de 2 etapas	hasta	3 000 KPa (30 bar)
de 3 etapas	hasta	22 000 KPa (220 bar)

Fuente: elaboración propia.

1.6.3.2. **Compresor de émbolo rotativo**

Consiste en un émbolo que está animado de un movimiento rotatorio. El aire es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético.

1.6.3.3. Compresor de diafragma (membrana)

Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto, en todo caso, el aire comprimido estará exento de aceite.

El movimiento obtenido del motor, acciona una excéntrica y por su intermedio el conjunto biela – pistón. Esta acción somete a la membrana a un vaivén de desplazamientos cortos e intermitentes que desarrolla el principio de aspiración y compresión.

Debido a que el aire no entra en contacto con elementos lubricados, el aire comprimido resulta de una mayor pureza, por lo que lo hace, especialmente aplicable en industrias alimenticias, farmacéuticas, químicas y hospitales.

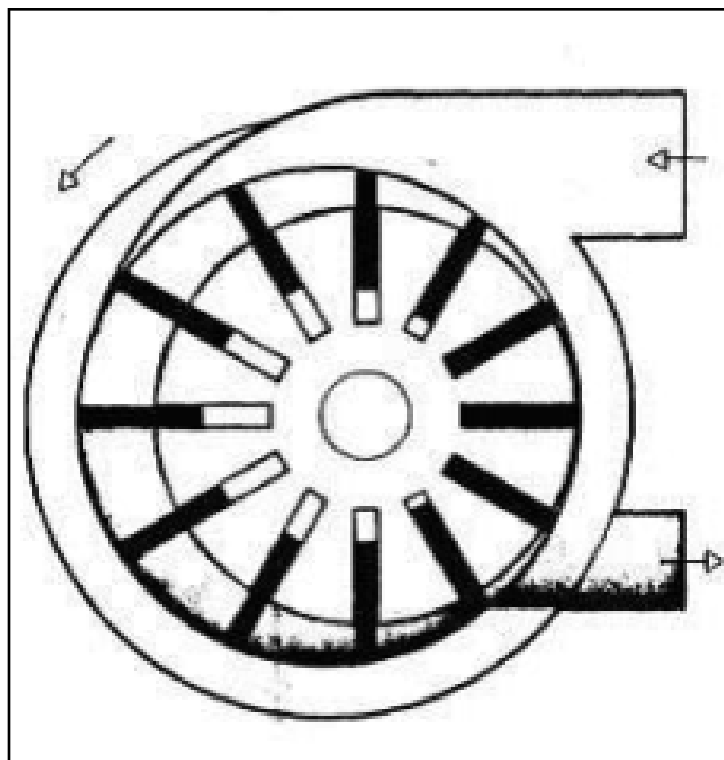
1.6.3.4. Compresor de paletas deslizantes

Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y su caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas.

El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente.

Tiene la ventaja de generar grandes cantidades de aire, pero con vestigios de aceite, por lo que en aquellas empresas en que no es indispensable la esterilidad presta un gran servicio, a mismo tiempo el aceite pulverizado en el aire lubrica las válvulas y elementos de control y potencia.

Figura 3. **Compresor de paletas deslizantes**



Fuente: ABRAHAM, Robert W. Compresores y bombas. p. 12.

1.6.3.5. Compresor de pistón líquido

El compresor de pistón líquido o de anillo líquido utiliza un rotor con paletas curvadas hacia delante alrededor de un cuerpo central que tiene aberturas de admisión y descarga; las paletas actúan sobre el anillo líquido atrapado en el interior de una carcasa elíptica.

Una cierta cantidad de líquido está atrapado entre las paletas adyacentes y a medida que el rotor gira, la cara del líquido se mueve hacia dentro y hacia afuera de este espacio debido a la forma de la carcasa. El principio de operación es similar al compresor de paletas deslizantes, con la diferencia de que, en este caso, son las paredes del líquido (y no las paletas) las que se mueven y hacen que el volumen de las cámaras que se forman entre dos paletas consecutivas disminuyan al pasar de la abertura de admisión a la descarga.

El líquido en movimiento recíprocante ejerce un efecto de pistón sobre el aire atrapado en las cámaras. Las aberturas de admisión y de descarga localizadas en el centro son fijas (no hay válvulas) y en cada revolución se completan dos ciclos de compresión en cada cámara del compresor.

El enfriamiento de los compresores de anillo líquido, se hace directamente en la frontera física entre el gas y el líquido que comprimen en lugar de hacerse a través de las paredes de la carcasa, debido al contacto íntimo entre el líquido y el gas, la temperatura de admisión de líquido; sin embargo, el gas descargado queda saturado a la temperatura de admisión de líquido; debido a lo cual la mezcla descargada, generalmente es pasada a través de un separador convencional o de tipo centrífugo para remover el exceso de líquido. La cantidad de líquido que puede pasar a través del compresor no es crítica; la unidad no sufrirá daños si una gran cantidad de líquido inadvertida, o intencionalmente, entra a la succión.

1.6.3.6. Compresor de tornillo rotativo

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado del aire aspirado axialmente. Los tornillos del tipo helicoidal engranan con sus perfiles y de ese modo se logra reducir el

espacio de que dispone el aire. Esta situación genera un aumento de la presión interna del aire y además, por la rotación y el sentido de las hélices es impulsado hacia el extremo opuesto.

Los ciclos se traslapan, con lo cual se logra un flujo continuo. A fin de evitar el desgaste de los tornillos, estos no se tocan entre sí, ni tampoco con la carcasa, lo cual obliga a utilizar un mecanismo de transmisión externo que permita sincronizar el movimiento de ambos elementos.

Entrega caudales y presiones medios altos (600 a 40 000 m³/h y 25 bar.), pero menos presencia de aceite que el de paletas. Ampliamente utilizado en la industria de la madera, por su limpieza y capacidad.

1.6.3.7. Compresor de lóbulos rectos (Roots)

En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión, la estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos.

Como ventaja, presenta el hecho que puede proporcionar un gran caudal, lo que hace especial para empresas que requieren soplar y mover gran cantidad de aire, su uso es muy limitado.

El accionamiento, también se asegura exteriormente, ya que por la forma de los elementos y la acción del roce no es conveniente que los émbolos entren en contacto.

1.6.3.8. Turbocompresores

Trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos, y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial. El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión.

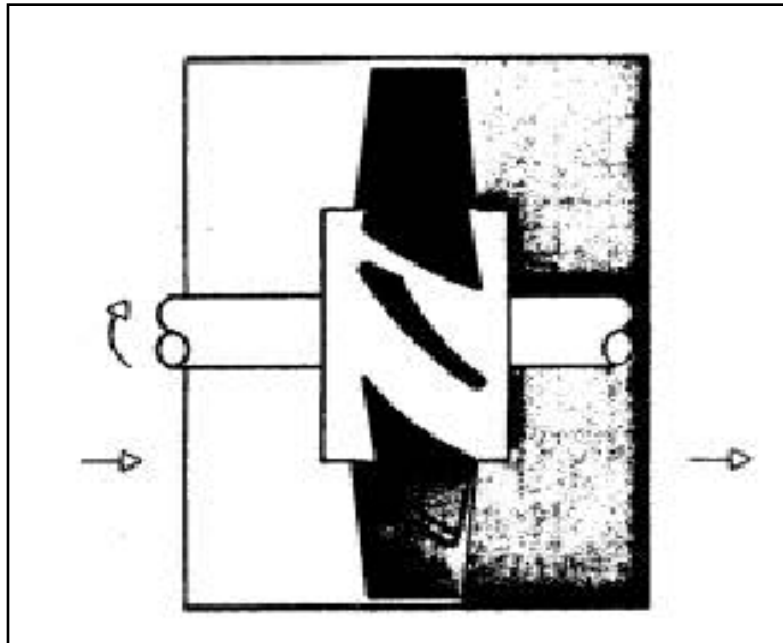
1.6.3.9. Compresor axial

El proceso de obtener un aumento de la energía de presión a la salida del compresor se logra de la siguiente manera. La rotación acelera el fluido en el sentido axial comunicándole de esta forma una gran cantidad de energía cinética a la salida del compresor, y por la forma constructiva, se le ofrece al aire un mayor espacio, de modo que obligan a una reducción de la velocidad.

Esta reducción se traduce en una disminución de la energía cinética, lo que se justifica por haberse transformado en energía de presión.

Con este tipo de compresor se pueden lograr grandes caudales (200 000 a 500 000 m³/h) con flujo uniforme pero, a presiones relativamente bajas (5 bar). La rotación de los álabes acelera el aire en sentido axial de flujo.

Figura 4. **Compresor de flujo axial**

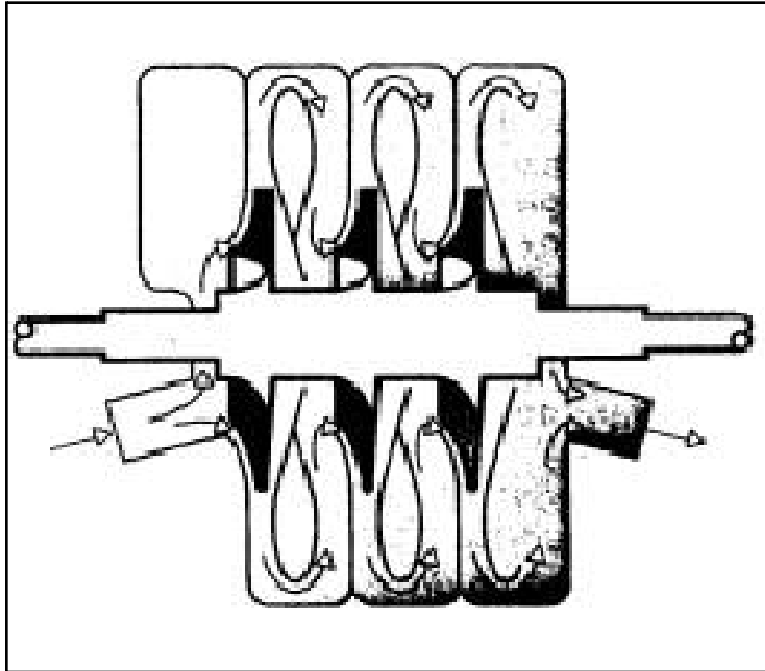


Fuente: Manual del profesional del aire comprimido, compresores de aire. p.10.

1.6.3.10. **Compresor radial**

En este caso, el aumento de presión del aire se obtiene utilizando el mismo principio anterior, con la diferencia de que el fluido es impulsado una o más veces en el sentido radial. Por efecto de la rotación, los álabes comunican energía cinética y lo dirigen radialmente hacia fuera, hasta encontrarse con la pared o carcasa que lo retoma al centro, cambiando su dirección. En esta parte del proceso el aire dispone de un mayor espacio disminuyendo por tanto la velocidad y la energía cinética, lo que se traduce en la transformación de presión. Se logran grandes caudales pero a presiones bajas. El flujo obtenido es uniforme.

Figura 5. **Compresor de flujo radial**



Fuente: Manual del profesional del aire comprimido, compresores de aire. p. 11.

En la figura 5 se aprecia un compresor de flujo radial, que posee tres cámaras de aceleración, el flujo de aire obtiene una aceleración progresiva de cámara a cámara en sentido radial hacia afuera; el aire en circulación regresa de nuevo a la parte central del compresor, es decir al eje donde están instalados los alabes, desde aquí se vuelve a acelerar hacia afuera.

1.6.3.11. Compresor de flujo mixto

Entre los dos diseños anteriores se encuentra el compresor dinámico de flujo mixto, el cual combina características de diseño del compresor radial y el compresor axial. Sus características únicas de flujo hacen de este compresor el equipo ideal para aplicaciones de baja presión.

El impulsor de flujo mixto puede manejar entre dos y tres veces el flujo que manejaría el impulsor de un compresor radial con igual diámetro.

1.6.3.12. Eyectores

Un eyector está constituido por una boquilla que descarga un chorro de vapor o gas a una presión relativamente alta y a una gran velocidad a través de una cámara de succión en un difusor con forma de ventura. El gas cuya presión se va a incrementar, es arrastrado por el chorro en la cámara de succión. La mezcla en este punto tiene alta velocidad y está a la presión del gas inducido. La compresión tiene lugar a medida que la energía de velocidad se transforma en presión dentro del difusor ubicado al final de la unidad.

Los eyectores son usados, principalmente, para llevar un gas de presiones por debajo de la atmosférica (vacío), a presiones de descarga cercanas a la atmosférica; los eyectores; sin embargo, pueden efectuar la compresión desde una presión de admisión de aire cercana a la atmosférica a un nivel de presión un poco más alto, en cuyo caso son conocidos como compresores térmicos. A pesar de que los principios de operación son idénticos para ambos tipos, las velocidades y otras características de operación varían entre uno y otro.

Los eyectores no tienen partes móviles. Pueden manejar arrastre de líquido sin daño físico; sin embargo, no es recomendable su exposición de líquido.

1.7. Elementos de distribución

Las válvulas neumáticas son considerados elementos de mando, de hecho, necesitan o consumen poca energía y a cambio, son capaces de gobernar una energía muy superior.

1.7.1. Válvulas generalidades

Los mandos neumáticos están constituidos por elementos de señalización, elementos de mando y una parte de trabajo. Los elementos de señalización y mando modulan las fases de trabajo de los elementos de trabajo y se denominan válvulas. Los sistemas neumáticos e hidráulicos lo constituyen:

- Elementos de información
- Órganos de mando
- Elementos de trabajo

Para el tratamiento de la información y órganos de mando es preciso emplear aparatos que controlen y dirijan el flujo de forma preestablecida, lo que obliga a disponer de una serie de elementos que efectúen las funciones deseadas relativas al control y dirección del flujo del aire comprimido o aceite. En los principios del automatismo, los elementos reseñados se mandan manual o mecánicamente. Cuando por necesidades de trabajo se precisaba efectuar el mando a distancia, se utilizaban elementos de comando por émbolo neumático (servo).

Actualmente, además de los mandos manuales para la actuación de estos elementos, se emplean para el comando procedimientos servo neumáticos y

electro-neumáticos que efectúan en casi su totalidad el tratamiento de la información y de la amplificación de señales.

La gran evolución de la neumática y la hidráulica ha hecho, a su vez evolucionar los procesos para el tratamiento y amplificación de señales, y por tanto, actualmente se dispone de una gama muy extensa de válvulas y distribuidores que nos permiten elegir el sistema que mejor se adapte a las necesidades.

Algunas veces que el comando se realiza neumáticamente o hidráulicamente y otras se obliga a recurrir a la electricidad por razones diversas, sobre todo cuando las distancias son importantes y no existen circunstancias adversas.

Las válvulas en términos generales, tienen las siguientes misiones:

- Distribuir el fluido
- Regular Caudal
- Regular Presión

Las válvulas son elementos que mandan o regulan la puesta en marcha el paro y la dirección, así como la presión o el caudal del fluido enviado por un compresor neumático o almacenado en un depósito. En lenguaje internacional, el término válvula o distribuidor es el término general de todos los tipos, tales como: válvulas de corredera, de bola, de asiento, grifos, etc.

Es la definición de la Norma DIN/ISO 1219 conforme a una recomendación del CETOP (Comité Européen des Transmissions

Oléohydrauliques et Pneumatiques). Según su función las válvulas se subdividen en 5 grupos:

- De vías o distribuidoras
- De bloqueo
- De presión
- De caudal
- De cierre

1.7.2. Clasificación de las válvulas

Se pueden clasificar de varias maneras, por su construcción interna, por su accionamiento y por el número de vías y posiciones, la clasificación más importante es por el número de vías y posiciones, aunque en este tipo de clasificación no se tiene presente su construcción ni el pilotaje que lleva.

Si tenemos la clasificación de estas válvulas por su tipo de accionamiento, tendremos la información precisa para saber si la válvula acciona directamente o indirectamente, en cambio, si hacemos una clasificación por su construcción física, sabremos si es de corredera, de disco o de asiento.

1.7.2.1. Válvulas distribuidoras

Estas válvulas son los componentes que determinan el camino que ha de tomar la corriente de aire, a saber, principalmente puesta en marcha y paro (*Start-Stop*). Son válvulas de varios orificios (vías) los cuales determinan el camino que debe seguir el fluido bajo presión para efectuar operaciones tales como puesta en marcha, paro, dirección, etc.

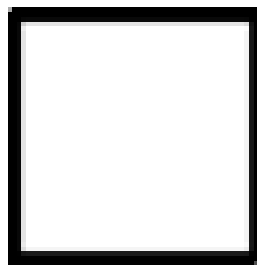
Pueden ser de dos, tres, cuatro y cinco vías correspondiente a las zonas de trabajo y, a la aplicación de cada una de ellas, estará en función de las operaciones a realizar.

Para presentar las válvulas distribuidoras en los esquemas de circuito se utilizan símbolos, éstos no dan ninguna orientación sobre el método constructivo de la válvula; solamente indican su función. Hay que distinguir, principalmente:

- Las vías, número de orificios correspondientes a la parte de trabajo.
- Las posiciones, las que puede adoptar el distribuidor para dirigir el flujo por una u otra vía, según necesidades de trabajo.

Las posiciones de las válvulas distribuidoras se presentan por medio de cuadrados.

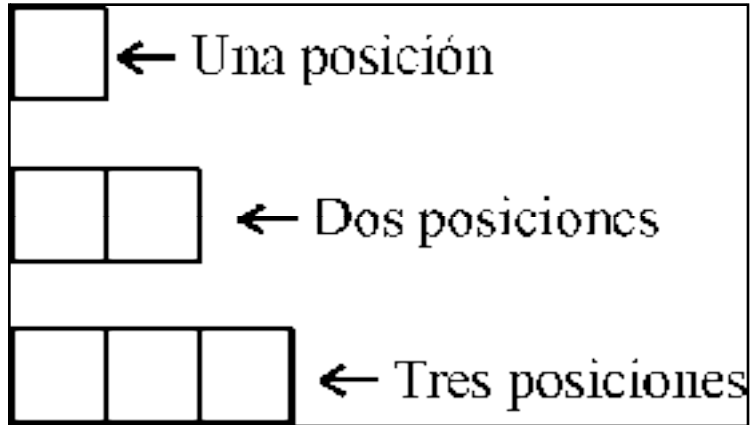
Figura 6. **Representación de válvulas**



Fuente: elaboración propia.

La cantidad de cuadrados y puestos indica la cantidad de posiciones de la válvula distribuidora.

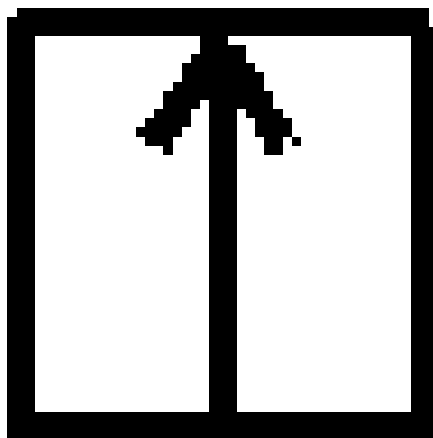
Figura 7. **Representación de posiciones**



Fuente: elaboración propia.

El funcionamiento se presenta esquemáticamente en el interior de las casillas.

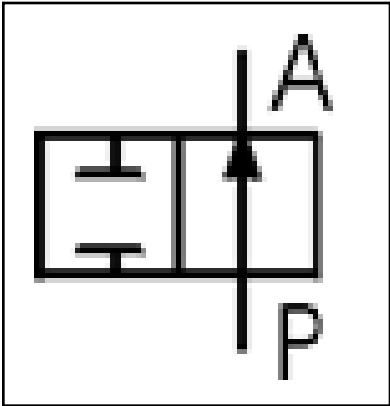
Figura 8. **Representación de funcionamiento**



Fuente: elaboración propia.

Las líneas representan tuberías o conductos. Las flechas, el sentido de circulación del fluido.

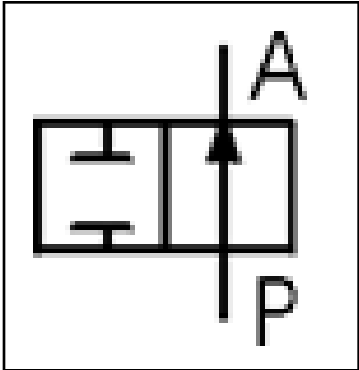
Figura 9. **Representación de sentido de flujo**



Fuente: elaboración propia.

La posición de cierre dentro de las casillas se presenta mediante líneas transversales.

Figura 10. **Representación de cierre de flujo**

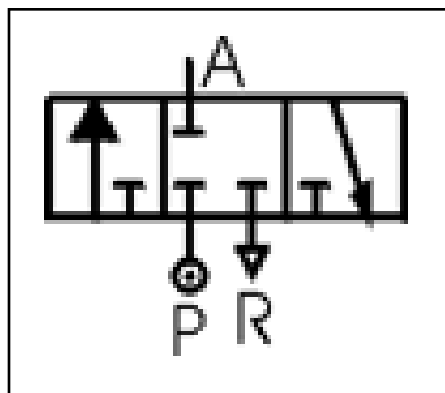


Fuente: elaboración propia.

La otra posición se obtiene desplazando lateralmente los cuadrados hasta que las conexiones coincidan.

Válvulas de 3 posiciones: posición intermedia = posición de reposo.

Figura 11. **Representación de válvula en reposo**

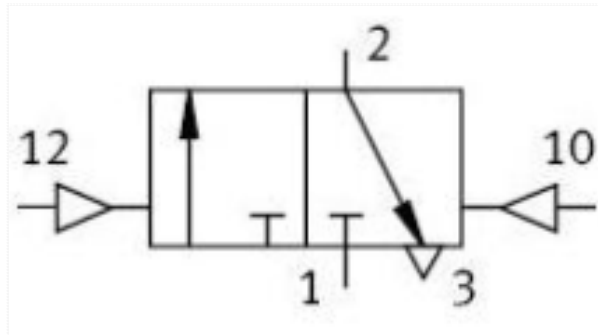


Fuente: elaboración propia.

Por posición de reposo se entiende en el caso de válvulas con dispositivo de reposición, por ejemplo: un muelle, aquella posición que las piezas móviles ocupan cuando la válvula no está conectada. La posición inicial es la que tienen las piezas móviles de la válvula después del montaje de ésta, establecimiento de la presión y, en caso dado conexión de la tensión eléctrica. Es la posición por medio de la cual comienza el programa preestablecido.

Conductos de escape sin empalme de tubo (aire evacuado a la atmósfera). Triángulo directamente junto al símbolo.

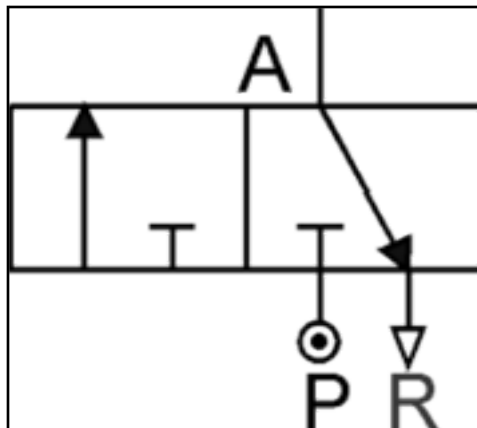
Figura 12. **Representación de conductos de escape**



Fuente: elaboración propia.

Conductos de escape con empalme de tubo (aire evacuado a un punto de reunión). Triángulo ligeramente separado del símbolo.

Figura 13. **Conductos de escape**



Fuente: elaboración propia.

Para evitar errores durante el montaje de los empalmes se identifican por medio de letras mayúsculas:

- Tuberías o conductos de trabajo A, B, C
- Empalme de energía P
- Salida de escape R, S, T
- Tuberías o conductos de pilotaje Z, Y, X

1.7.3. Unidad de mantenimiento.

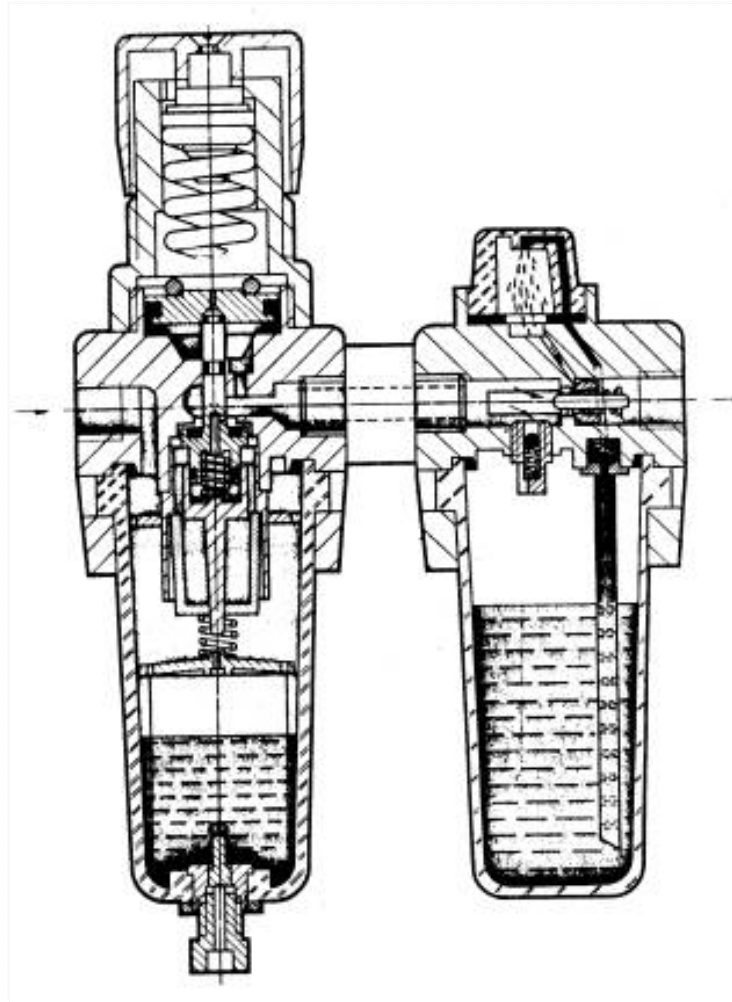
La unidad de mantenimiento representa una combinación de los siguientes elementos:

- Filtro de aire comprimido
- Regulador de presión
- Lubricador de aire comprimido

Debe tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal total de aire en m³/h es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se producen en las unidades una caída de presión demasiado grande. Por eso es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50° C (valores máximos para recipientes de plástico).

Figura 14. **Unidad de mantenimiento**



Fuente: Festo Didactic, Manual FESTO, grupo de accionamiento. p. 142.

Es necesario efectuar en intervalos regulares los trabajos siguientes de conservación:

- Filtro de aire comprimido: debe examinarse periódicamente el nivel del agua condensada, porque no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la

tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua condensada hay que abrir el tornillo existente en la mirilla. Asimismo debe limpiarse el cartucho filtrante.

- Regulador de presión: cuando está precedido de un filtro, no requiere ningún mantenimiento.
- Lubricador de air comprimido: verificar el nivel de aceite en la mirilla y si es necesario, suplirlo hasta el nivel permitido. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con tricloroetileno. Para los lubricadores utilizar únicamente aceites minerales.

1.7.3.1. Filtros de aire

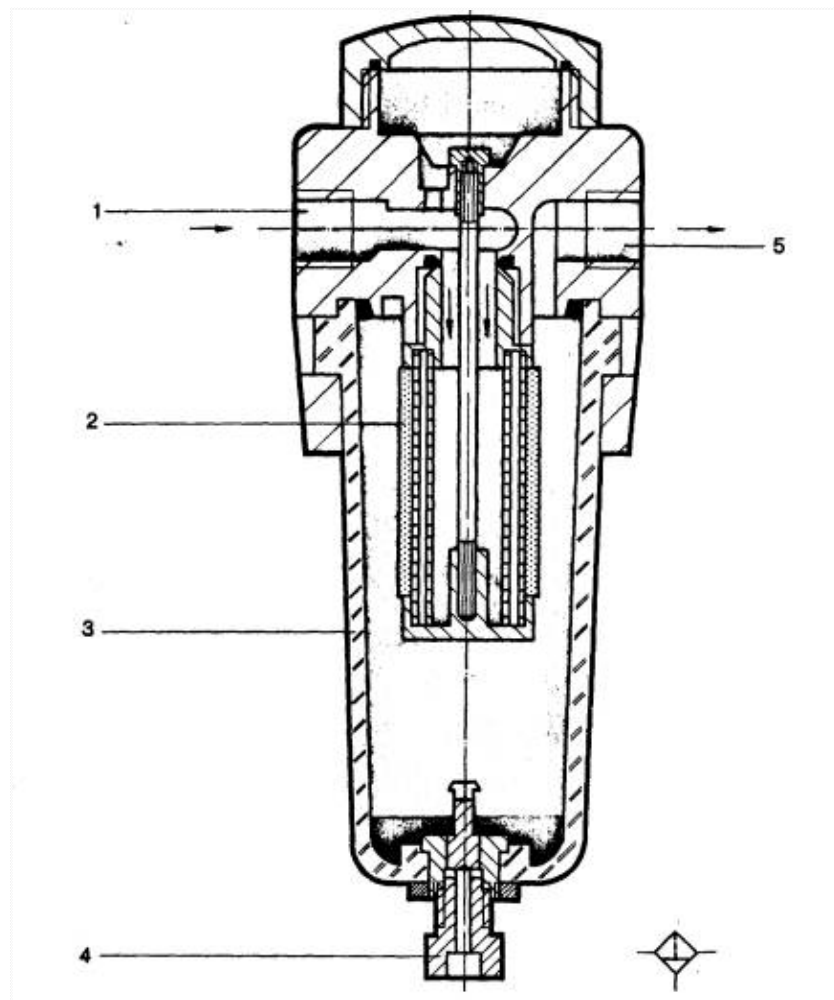
El filtro de aire tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada. En los procesos de automatización neumática se tiende cada vez a reducir los elementos que conforman la red de aire comprimido (problema de espacio), fabricarlos con materiales y procedimientos con el que se pretende el empleo cada vez menor de lubricadores, consecuencia de esto es que cada vez tenga más importancia el conseguir un mayor grado de pureza en el aire comprimido, para lo cual se crea la necesidad de utilizar filtros que garanticen los grados de pureza para la utilización del aire.

- Filtro finísimo de aire comprimido: éste filtro se emplea en aquellos ramos en que se necesita aire filtrado finísimamente (por ejemplo: industrias alimenticias, químicas y farmacéuticas, en la técnica de procedimientos y en sistemas que trabajan con módulos de baja presión). Elimina el aire

comprimido, casi sin restos de las partículas de agua y aceite. El aire comprimido se filtra un 99,99% (referido a 0,01 de micrón).

- Funcionamiento: éste se diferencia del filtro normal en el hecho de que el aire comprimido atraviesa el cartucho filtrante de adentro hacia afuera.

Figura 15. **Filtro finísimo de aire comprimido**



Fuente: Festo Didactic, Manual FESTO, grupo de accionamiento. p. 144.

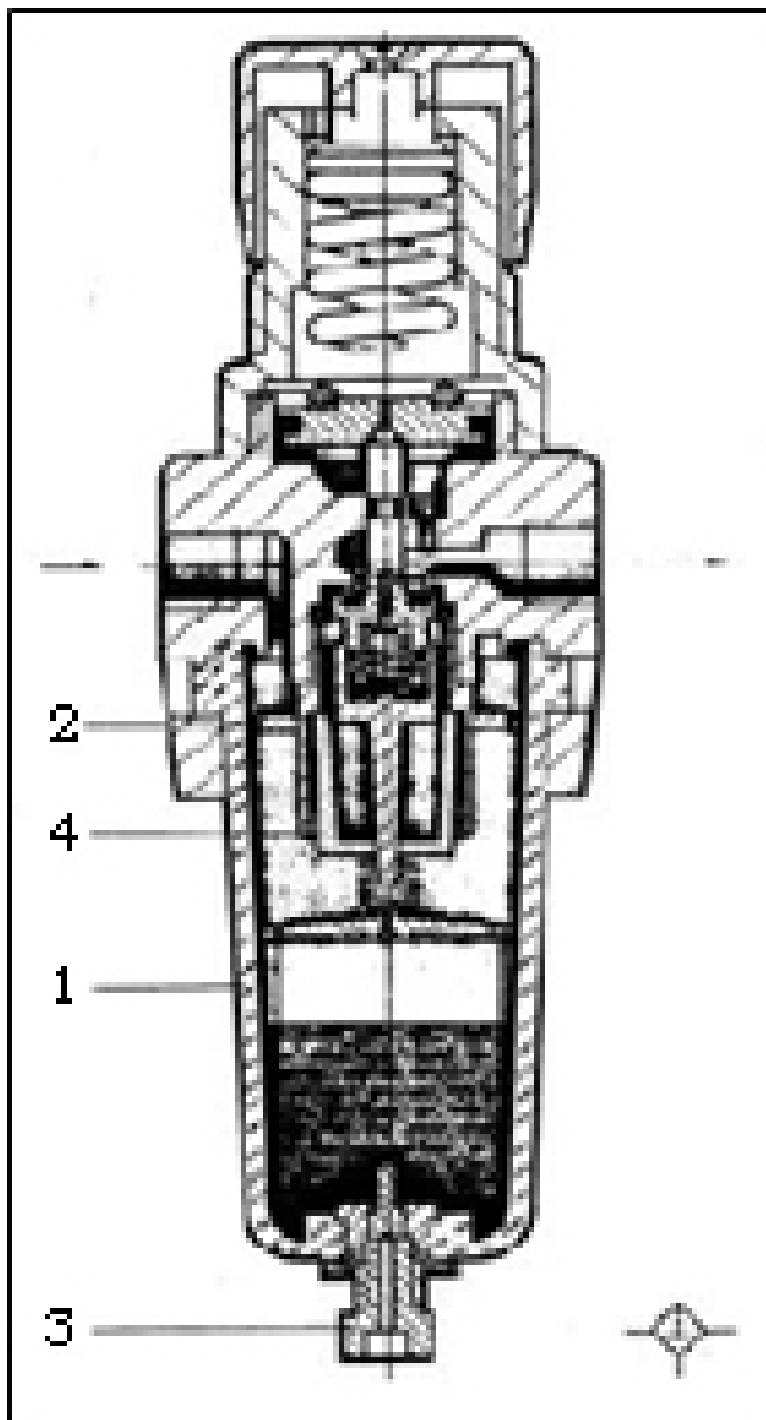
- El aire comprimido entra en el filtro por (1).
- Atraviesa el elemento filtrante (2) (fibras de vidrio boro silicato de adentro hacia afuera).
- El aire comprimido limpio pasa por la salida (5) a los consumidores. La separación de partículas finísimas hasta 0.01 micrón es posible debido a la finura extraordinaria del tejido filtrante.
- Las partículas separadas se eliminan del recipiente del filtro, por el tornillo de purga (4).

Para que las partículas de agua y aceite no puedan ser arrastradas por el aire que circula, deben observarse los valores de flujo. Al montarlo hay que tener presente lo siguiente: el prefiltrado aumenta la duración del cartucho filtrante; el filtro ha de montarse en posición vertical, prestando atención al sentido de flujo (flecha).

- Filtro de aire comprimido con regulador de presión: el filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada. En los procesos de automatización neumática se tiende cada vez a miniaturizar los elementos (problemas de espacio), fabricarlos con materiales y procedimientos con los que se pretende el empleo cada vez menor de los lubricadores. Consecuencia de esto es que cada vez tenga más importancia el conseguir un mayor grado de pureza en el aire comprimido, para lo cual se crea la necesidad de realizar un filtraje que garantice su utilización. El filtro tiene por misión:

- Detener las partículas sólidas.
- Eliminar el agua condensada en el aire.
- Para entrar en el recipiente (1).
- El aire comprimido tiene que atravesar la chapa deflectora (2) provista de ranuras directrices. Como consecuencia se somete a un movimiento de rotación. Los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente.
- En el filtro sintetizado (4) (ancho medio de poros, 40 mm) sigue la depuración del aire comprimido. Dicho filtro (4) separa otras partículas de suciedad. Debe ser sustituido o limpiado de vez en cuando, según el grado de ensuciamiento del aire comprimido. El aire comprimido limpio pasa entonces por el regulador de presión y llega a la unidad de lubricación y de aquí a los consumidores.

Figura 16. Filtro de aire comprimido con regulador de presión



Fuente: Festo Didactic, Manual FESTO, grupo de accionamiento. p. 145.

Los filtros se fabrican en diferentes modelos y deben tener drenajes accionados manualmente, semiautomáticamente. Los depósitos deben construirse de material irrompible y transparente. Generalmente pueden limpiarse con cualquier detergente. generalmente trabajan siguiendo el siguiente proceso: el aire entra en el depósito a través de un deflector direccional que le obliga a fluir en forma de remolino. Consecuentemente la fuerza centrífuga creada arroja las partículas líquidas contra la pared del vaso y éstas se deslizan hacia la parte inferior del mismo, depositándose en la zona de calma.

La pantalla separadora evita que con las turbulencias del aire retornen las condensaciones. El aire continúa su trayecto hacia la línea pasando a través del elemento filtrante que retiene las impurezas sólidas. Al abrir el grifo son expulsadas al exterior las partículas líquidas y sólidas en suspensión.

El agua no debe pasar del nivel marcado que normalmente traen los elementos, puesto que la zona de turbulenta, el agua sería de nuevo arrastrada por el aire. La condensación acumulada en la parte inferior el recipiente (1) se deberá vaciar antes de que alcance la altura máxima admisible a través del tornillo de purga (3). Si la cantidad que se condensa es grande, conviene montar una purga automática de agua.

- Reguladores de presión

El regulador tiene la misión de mantener la presión de trabajo (secundaria) lo más constante posible, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red (primaria) y del consumo de aire. La presión primaria siempre ha de ser mayor que la secundaria: Es regulada por la membrana (1),

que es sometida, por un lado, a la presión de trabajo, y por el otro a la fuerza de un resorte (2), ajustable por medio de un tornillo (3).

A medida que la presión de trabajo aumenta, la membrana actúa contra la fuerza del muelle. La sección de paso en el asiento de válvula (4) disminuye hasta que la válvula cierra el paso por completo. En otros términos, la presión es regulada por el caudal que circula.

Al tomar aire, la presión de trabajo disminuye y el muelle abre la válvula. La regulación de la presión de salida ajustada consiste, en la apertura y cierre constantes de la válvula. Con el objetivo de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula (6) hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle (5). La presión de trabajo se visualiza en un manómetro. Cuando la presión secundaria aumenta demasiado, la membrana es empujada contra el muelle. Entonces abriendo el orificio de escape en la parte central de la membrana y el aire puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.

1.7.3.2. Lubricado de aire comprimido

El lubricador tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos en medida suficiente. El lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión. Son aparatos que regulan y controlan la mezcla de aire-aceite. Los aceites que se emplean deben tener que cumplir las siguientes características:

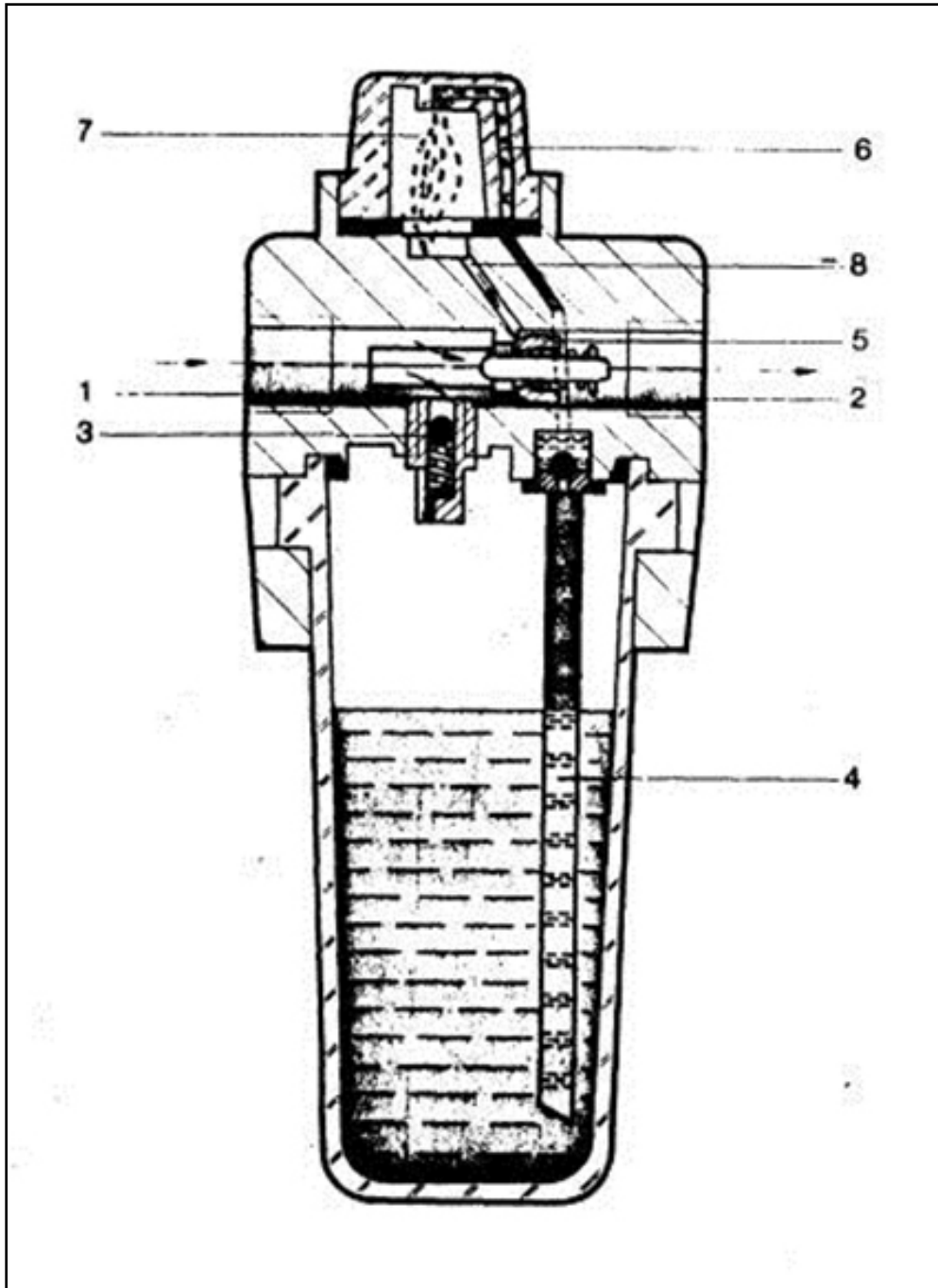
- Ser muy fluidos
- Contener aditivos antioxidantes
- Contener aditivos antiespumantes
- No perjudicar los materiales de las juntas

- Tener una viscosidad poco variable trabajando entre 20 °C y 50 °C
- No pueden emplearse aceites vegetales (forman espuma)

Los lubricadores trabajan generalmente según el principio *Venturi*. La diferencia de presión Δp (caída de presión) entre la presión reinante antes de la tobera y la presión en el lugar más estrecho de ésta se emplea para inspirar líquido (aceite) de un depósito y mezclarlo con el aire.

El aire comprimido atraviesa el aceitador desde la entrada (1) hasta la salida (2). Por el estrechamiento de sección en la válvula (5), se produce una caída de presión. En el canal (8) y en la cámara de goteo (7) se produce una depresión (efecto de succión). A través del canal (6) y el tubo elevador (4) se aspiran gotas de aceite. Estas llegan, a través de la cámara de goteo (7) y del canal (8) hasta el aire comprimido, que afluye hacia la salida (2). Las gotas de aceite son pulverizadas por el aire comprimido y llegan en este estado hasta el consumidor.

Figura 17. Lubricador de aire comprimido



Fuente: Festo Didactic, Manual FESTO, grupo de accionamiento. p. 148.

La sección de flujo varía según la cantidad de aire que pasa y varía la caída de presión, o sea, varía la cantidad de aceite. En la parte superior del tubo elevador (4) se puede realizar otro ajuste de la cantidad de aceite, por medio de un tornillo. Una determinada cantidad de aceite ejerce presión sobre el aceite que le encuentra en el depósito, a través de la válvula de retención (3).

1.8. Secadores

Los Secadores de Aire remueven el vapor de agua y disminuyen el punto de rocío del aire comprimido. Previenen la formación de agua líquida, pero no eliminan todos los demás contaminantes, los cuales se usan filtros.

La selección de un secador de aire depende de la aplicación que se le va a dar; pero también debe de haber otras consideraciones, como son la temperatura y el contenido de humedad del aire ambiente, las características del compresor y de otras unidades del sistema.

1.8.1. Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secantes. Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente del absorbente. Ello se puede realizar manual o automáticamente.

Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año). Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las

cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de éste.

En el procedimiento de absorción se distingue:

- Instalación simple
- Reducido desgaste mecánico, porque el secador no tiene piezas móviles
- No necesita aportación de energía exterior

1.8.2. Secado por adsorción

Este principio se basa en un proceso físico. (Adsorber: depósito de sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos). El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas, se compone de casi un 100% de dióxido de silicio. En general, se le da el nombre de gel.

La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad. La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente que absorbe la humedad del material de secado.

El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica o también con aire comprimido caliente. Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro se regenera (soplándolo con aire caliente).

1.8.3. Secado por enfriamiento

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío. Se entiende por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas. Al objeto de que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido a secar entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador). El condensado de aceite y agua se evacúa del intercambiador de calor, a través del separador.

Este aire preenfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más hasta una temperatura de unos 274,7 K (1,7° C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados. Seguidamente se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objetivo de eliminar nuevamente partículas de suciedad.

2. DEFINICIÓN DE AUTOMÁTA

2.1. Definición de autómeta

Es toda máquina electrónica, diseñada para controlar en tiempo real y en medio industrial procesos secuenciales. Su manejo y programación puede ser realizada por personal eléctrico o electrónico sin conocimientos informáticos. Realiza funciones lógicas: series, paralelos, temporizaciones, contajes y otras más potentes como cálculos, regulaciones

2.1.1. Sistema de control

El objetivo de un sistema de control es el de gobernar la respuesta de una planta, sin que el operador intervenga directamente sobre sus elementos de salida. Dicho operador manipula únicamente las magnitudes denominadas de consigna y el sistema de control se encarga de gobernar dicha salida a través de los accionamientos.

El concepto lleva, de alguna forma implícito, que el sistema de control opera, en general, con magnitudes de baja potencia, llamadas generalmente señales, y gobierna unos accionamientos que son los que realmente modulan la potencia entregada a la planta.

Según la definición anterior, el conjunto de sistema de control y accionamientos se limitaría a ser un convertidor amplificador de potencia que ejecuta las órdenes dadas, a través de las magnitudes de consigna, este tipo de

sistema de control se denomina en lazo abierto, por el hecho que no recibe ningún tipo de información del comportamiento de la planta.

Lo habitual; sin embargo, es que el sistema de control se encargue de la toma de ciertas decisiones, ante determinados comportamientos de la planta, hablándose entonces de sistemas automáticos de control. Para ello se requiere la existencia de sensores que detecten el comportamiento de dicha planta y de interfaces para adaptar las señales de los sensores a las entradas del sistema de control.

Este tipo de sistemas se denomina lazo cerrado, ya que su diagrama muestra claramente una estructura con una cadena directa y un retorno o realimentación, formado un lazo de control. Así pues, en el caso más general, se puede dividir el sistema de control en los siguientes bloques:

- Unidad de control
- Accionamientos
- Sensores
- Interfaces

Al conjunto de señales de consigna y de realimentación que entra a la unidad de control se les denomina genéricamente entradas, y al conjunto de señales de control obtenidas salidas.

2.1.2 Automatismo analógicos y digitales

Según la naturaleza de las señales que intervienen en el proceso, los sistemas de control pueden dividirse en los siguientes grupos:

- Sistemas analógicos
- Sistemas digitales
- Sistemas híbridos analógico-digitales

Los sistemas analógicos trabajan con señales de tipo continuo, con un margen de variación determinado. Dichas señales suelen representar magnitudes físicas del proceso, tales como: presión, temperatura, velocidad, etc., mientras una tensión o corriente, proporcionales a su valor (0 a 10 V, 4 a 20 mA, etc.).

Los sistemas digitales, en cambio, trabajan con señales del tipo todo o nada, llamadas también binarias, que sólo pueden presentar dos estados o niveles: abierto o cerrado, conduce o no conduce, mayor o menor, etc. Estos niveles o estados suelen representarse mediante variables lógicas o bits, cuyo valor puede ser sólo 1 ó 0, empleando la notación binaria del álgebra de Boole.

Los sistemas de control actuales con un cierto grado de complejidad, y en particular de los autómatas programables son casi siempre híbridos, es decir, sistemas que procesan a la vez, señales analógicas y digitales. No obstante, se tiende a que la unidad de control sea totalmente digital y basada en un microprocesador, que aporta la capacidad de cálculo necesaria, para tratar las señales todo o nada en forma de bits y las señales analógicas numéricamente.

Dado que muchos de los sensores, regulamente empleados utilizan señales de tipo analógico, las interfaces de estas señales deben realizar una conversión analógico-numérica, llamada habitualmente conversión analógico-digital (AD), para que puedan ser tratadas por la unidad de control.

Puede ser necesario también, disponer de señales analógicas de salida, para ciertos indicadores o para control de ciertos servosistemas externos. En tal caso, el sistema de control debe disponer también de interfaces para la conversión digital-analógica (D/A), capaces de suministrar dichas señales a partir de los valores numéricos obtenidos por la unidad de control.

2.2. Estructura de los autómatas

Desde el punto de vista de su papel dentro del sistema de control, se ha dicho que el autómata programable es la unidad de control, incluyendo total o parcialmente las interfaces con las señales de proceso.

2.2.1. El autómata programable

Se define un sistema con un equipo estándar, con capacidad de conexión directa a las señales de campo (niveles de tensión y corriente industriales, transductores y periféricos y electrónicos) y programables por el usuario.

Al conjunto de señales de consigna y de realimentación que entran en el autómata se les denomina genéricamente: entradas, y al conjunto de señales de control obtenidas: salidas, pudiendo ser ambas analógicas o digitales.

Así se encuentran autómatas compactos que incluyen una unidad de control y un mínimo de entradas y salidas y luego tienen previstas una serie de unidades de expansión que les permiten llegar hasta 256 entradas/salidas digitales.

Para aplicaciones más complejas se dispone de autómatas montados en rack, con posibilidad hasta unas 1024 entradas/salidas controladas por una única unidad central (CPU).

Existe también la posibilidad, en autómatas grandes, de elección entre varios tipos de CPU's, adaptados a la tarea que debe realizarse o incluso de múltiples CPU's trabajando en paralelos en tareas distintas.

Tabla II. **Características de los autómatas atendiendo a su modularidad**

AUTÓMATAS	COMPACTOS		
		CPU única	Varias CPU
NÚMERO DE CPU	1 Central	1 Central	1 Central + x Dedicados
No. DE ENTRADAS/SALIDAS No. DE ENTRADAS/SALIDAS	8 a 256	128 a 1024	>1024
JUEGO DE INSTRUCCIONES	<100	<100	>100
PASOS DE PROGRAMA	<2000	<2000	2000 a 40000
UNIDADES DE EXPANSIÓN	Digitales+ Analógicas	Digitales+ Analógicas	Digitales+Analógicas + Reguladores
FUNCIÓN DE RED	Esclavo	Esclavo	Maestro o Esclavo

Fuente: elaboración propia.

La tabla II resume a grandes rasgos las características de los autómatas actuales desde el punto de vista de modularidad.

Así, las posibilidades de elección, tanto en capacidad de proceso como en número de entradas/salidas son muy amplias y esto permite afirmar que se dispone siempre de un equipo estándar adaptado a cualquier necesidad.

Esta adaptabilidad ha progresado últimamente, hacia el concepto de inteligencia distribuida, gracias a las comunicaciones entre autómatas y redes autómata-ordenador. Esta técnica sustituye el gran autómata, con muchas entradas/salidas controladas por una única CPU, por varios autómatas, con un

número menor de E/S, conectados en red y controlando cada punto o sección de una planta bajo el control de una CPU central.

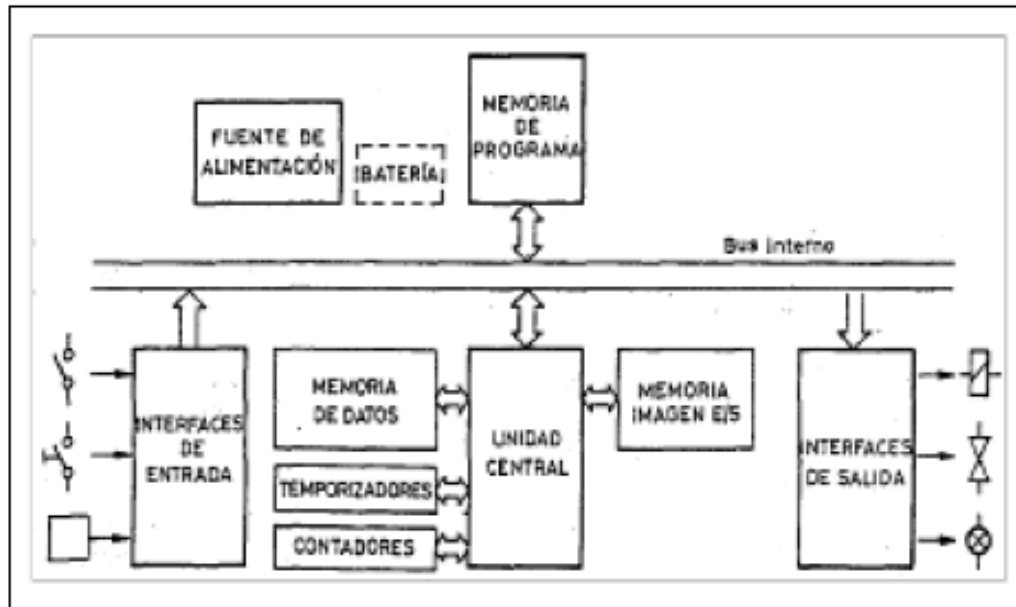
Este equipo electrónico de control tiene una estructura interna (sistema digital) independiente del proceso a controlar, que se adapta a dicho proceso mediante un programa específico (sistema), que contiene la secuencia de operaciones a realizar. Esta secuencia de operaciones se define sobre señales de entrada y salida al proceso, cableadas directamente en los bornes de conexión del autómeta.

Las señales de entrada pueden proceder de elementos digitales, como finales de carrera y detectores de proximidad o analógicos, como sensores de temperatura y dispositivos de salida en tensión o corriente continuas.

Las señales de salida son órdenes digitales o analógicas en tensión o corriente, que se envían a los elementos indicadores y actuadores del proceso, como lámparas, contactores, válvulas, etc. El autómeta gobierna las señales de salida según el programa de control, previamente almacenando en una memoria, a partir del estado de las señales de entrada.

El autómeta se configura alrededor de una unidad central de control, que unida por medio de buses internos a las interfaces de entrada y salida y a las memorias, define lo que se conoce como arquitectura interna del autómeta.

Figura 18. **Diagrama de bloques de la estructura de un autómata programable**



Fuente: Festo Didactic, Manual del sistema, sistema de automatización. p. 12.

Un autómata programable se compone esencialmente de los siguientes bloques:

- Unidad central de proceso o de control (CPU)
- Memoria
- Interfaces de entrada y salida
- Fuente de alimentación

2.3. Direccionamiento del autómata

Como existen gran cantidad de entradas y salidas eléctricas y estas pueden estar alojadas en diferentes módulos, nace la necesidad de indicarle a

la CPU, mediante nuestro programa, la referencia exacta de la entrada o salida con la que queremos interactuar. Al mecanismo de identificación en los PLC se le denomina direccionamiento de entradas y salidas.

2.3.1. Capacidades del autómata

La capacidad de un control lógico programable (PLC) se determina por el tipo de comandos que el usuario puede programar para que se ejecuten. Mientras el conjunto de instrucciones y los nombres de las instrucciones variarán ligeramente entre los fabricantes de los PLC.

Como se indicó anteriormente, los PLC fueron diseñados inicialmente para funcionar como reemplazos de los dispositivos de control cableados principalmente bobinas y contactos de relés, contadores y temporizadores. Actualmente estas funciones aún comprenden la mayoría de las instrucciones usadas en las aplicaciones de los PLC. Como ejemplo: imaginar el diseño de un sistema de control para un transportador en una operación de empacado de alimentos.

Con base en el estado de los dispositivos de campo, un PLC puede activar el transportador, detectar la presencia de una caja, mover la caja hacia la posición deseada, retenerla allí durante un tiempo predeterminado de llenado, y contar el número de cajas llenas que salen de la línea.

Los autómatas, también abren nuevas posibilidades de control con funciones avanzadas tales como: matemáticas de cuatro o cinco funciones, comparación de datos (i.e., igual a, mayor que etc.), manejo de datos (tales como clasificación de partes o seguimiento de fallos), sofisticadas subrutinas, secuenciador (reemplazando los secuenciadores de tambor), y otras funciones

que pueden ser apreciadas por los diseñadores de sistemas de control con experiencia.

A finales de los setenta, se plantearon en Europa algunos estándares válidos para la programación de autómatas, enfocados principalmente, a estado de la tecnología en aquel momento. Tenían en cuenta sistemas de autómatas 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 estructurados ni equivalentes para el desarrollo de programas de autómatas. Los desarrollos aparecidos en los años ochenta, tales como: el procesamiento de señales analógicas, interconexión de módulos inteligentes, sistemas de autómatas en red, etc, agravaron el problema. Consecuentemente, los sistemas 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 diagnosis, equipos de verificación interfaces hombre-máquina HIM, etc.). En este contexto, un dispositivo configurado por el usuario y compuesto por los elementos citados anteriormente, se conoce como sistema de 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 del usuario
- Parte 5: especificaciones del servicio de mensajes

La finalidad del nuevo estándar es 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.

Las denominaciones para las entradas, salidas y elementos de memoria, están definidas por IEC 1131-3.

- Entradas (*Inputs*) = I
- Salidas (*Outputs*) = Q
- Memorias (*Memory*) = M

2.3.2. Direccionamiento de entradas y salidas

Las entradas y salidas se designan con el distintivo del operando o del archivo que usan en el área de memoria, por ejemplo I para una entrada o Q para una salida, junto con un parámetro que indica la longitud y ubicación de la instrucción dentro del archivo. En estos archivos reside el estado de las entradas y salidas externas al procesador.

Comúnmente, los archivos E/S se dividen en longitudes o grupos de un *byte* o un *Word*, que corresponden a la configuración física de las E/S en un módulo del PLC.

- BOOL = secuencia de *bits* longitud 1

- BYTE = secuencia de *bits* longitud 8
- WORD = secuencia de *bits* longitud 16

IEC 1131-1 no especifica el margen de números que se permiten para esta numeración, ni si deben empezar por 0 o 1. Esto lo especifica el fabricante.

Se utiliza un punto para separar los niveles individuales de la jerarquía. El número de niveles de jerarquía no ha sido definido.

I3,4

I identificador de área (I = entrada)

3 Dirección del Byte: byte 3 (el cuarto byte)

Para separar el *byte* del *bit* se utiliza una coma

4 Bit del byte o número de bit: bit 4 de 8 (0 a 7)

Siempre que el control lo soporte, pueden direccionarse recursos que excedan de un bit. IEC 1131-3 emplea otra letra para describirlos, que sigue a la abreviación I, Q, M o V, por ejemplo: designa *bytes* o *words*.

En el caso de la numeración jerárquica, la posición más alta en el número de la izquierda debe ser codificada, los números que siguen a la derecha representan consecutivamente las posiciones más bajas.

2.3.3. Tipos y estados de señales

Anteriormente se describía cómo la unidad de control del autómata programable consultaba en las entradas los dos estados: Existe tensión y no

existe tensión y como conectaba o desconectaba a los dispositivos de control en dependencia del estado de tensión de las salidas.

Sin embargo, posteriormente para la elaboración del programa y realización de las tareas relativas a los datos tecnológicos debe conocerse la función técnica del emisor.

Si en una entrada hay conectado un emisor con un contacto de cierre (normalmente abierto), se aplicará el estado de señal "1" en la entrada cuando se accione el emisor. Por el contrario, si el emisor tiene un contacto de apertura (normalmente cerrado), se aplicará el estado de señal "0" en la entrada cuando se accione el emisor.

El autómata programable no puede determinar si en una entrada hay conectado un emisor con un contacto abierto o cerrado; sólo puede consultar o reconocer los estados de señal 1 ó 0.

Adquiere una gran importancia la pregunta sobre la elección de un contacto normalmente abierto o normalmente cerrado; sobre todo cuando deben tomarse en cuenta aspectos técnicos de seguridad de instalación.

2.4. Sistema operativo

La memoria del equipo contiene el sistema operativo, donde se encuentra el intérprete de instrucciones y todas las rutinas indispensables para el control lógico programable.

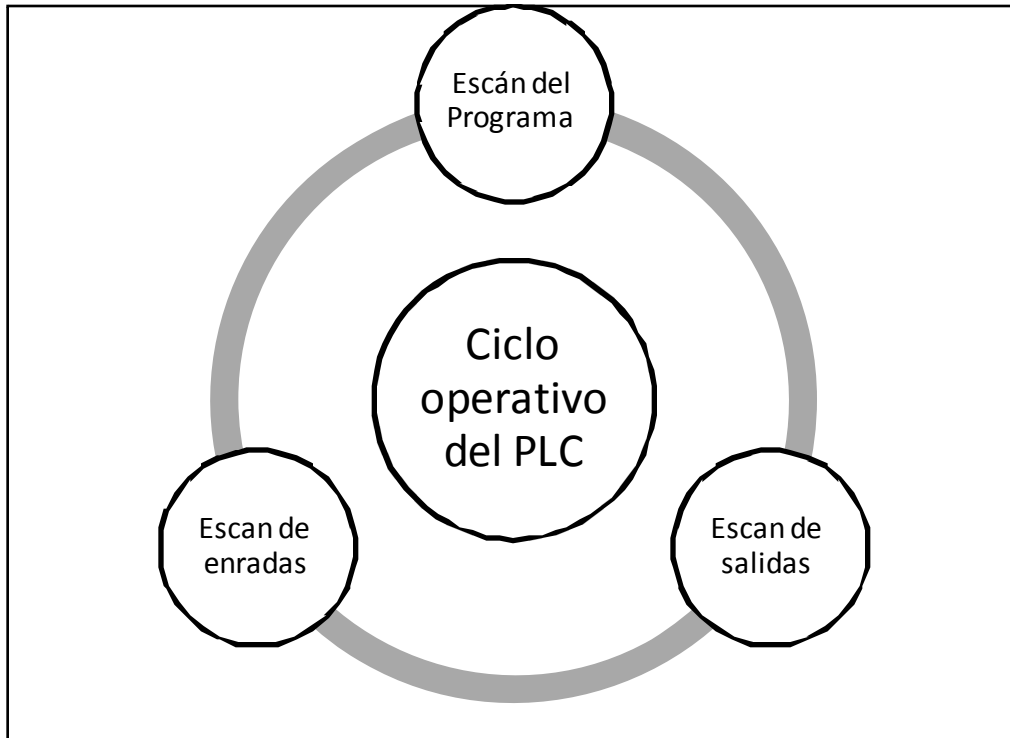
El sistema operativo desarrolla funciones de primera importancia como el control de entradas y salidas, transferencia de datos, comunicaciones y es modificable únicamente por el constructor (propiedad intelectual).

2.4.1. Tipo de operación

Un autómata energizado puede mantenerse en uno de los siguientes estados de funcionamiento (modos de operación):

- *Run*: el autómata ejecuta normalmente el programa de usuario contenido en su memoria.
- *Stop*: la ejecución del programa se detiene por orden del usuario.
- *Error*: el autómata detiene la ejecución por un error de funcionamiento, y queda bloqueado hasta que se corrige el error.
- El modo *stop* es, normalmente utilizado para servicios de mantenimiento o diagnóstico, al congelar el funcionamiento del autómata sin pérdida de la información contenida en su interior.
- El modo de operación puede ser controlado desde conmutadores situados en la misma CPU, o desde la unidad de programación, con el envío de comandos adecuados.

Figura 19. **Ciclo operativo del PLC**



Fuente: elaboración propia.

Ambas posibilidades pueden encontrarse simultáneamente en autómatas de gamas medias y alta, mientras que los modelos compactos de gamas baja suelen incluir sólo la segunda.

Tras la puesta en tensión, el autómata pasa a modos *stop* o *run*, dependiendo del modelo y de la configuración del mismo. Si en el intento de puesta en marcha o paso a estado *run* el autómata detecta algún mal funcionamiento sobre el aparato (conexiones, alimentación, etc.) o sobre el programa (sintaxis), no se mantiene el estado *run* y la CPU cae en *error*.

2.4.2. Funcionamiento

La secuencia de operación del autómata se puede dividir en tres fases principales:

- Lectura de señales desde la interfaz de entradas o escaneo de entradas.
- Proceso del programa para obtención de las señales de control, o escaneo del programa.
- Escritura de señales en la interfaz de salidas o escaneo de salidas.

El escaneo de entradas: durante un escaneo de entradas, el PLC examina los dispositivos de entrada externo para ver si tiene un voltaje presente o ausente (un estado *On* u *Off*). El estado de las entradas se almacena temporalmente en un archivo de memoria llamada: imagen de entradas. Así, el estado lógico de una entrada permanece constante durante un ciclo, incluso aunque en este intervalo haya cambiado físicamente.

Durante el escaneo del programa, el PLC escanea las instrucciones en el programa lógico, usa el estado de las entradas que se encuentra en el archivo de imagen de entrada, y determina si una salida debe ser activada o no. El estado resultante de las salidas se escribe al archivo de memoria de imagen de salida. El escaneo de salidas, con base a los datos que se encuentran en el archivo de imagen de salida, el PLC activa o desactiva sus circuitos de salida, controlando así los dispositivos externos. De forma similar a las entradas, las salidas no son inmediatamente activadas o desactivadas durante un ciclo, sino hasta que se finaliza. El PLC traslada la información contenida en el archivo de salidas hacia la interfaz de salidas para que éstas sean activadas o desactivadas físicamente.

La secuencia real en el autómata no es exactamente la indicada, ya que para optimizar los tiempos de acceso a las interfaces, los procesos de lectura de entradas y escritura de salidas se efectúan consecutivamente.

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 durar 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 entradas y salidas, se denomina: tiempo de ciclo o tiempo de escaneo. Cuanto más largo sea el programa y cuanto más tiempo necesite el PLC respectivo para procesar cada línea del programa, tanto más largo será el tiempo de ciclo. Los tiempos reales de ciclo varían aproximadamente entre 1 y 100 milisegundos.

Las consecuencias del procesamiento cíclico de un programa de PLC son las siguientes:

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

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

2.4.3. Sistema de revisión

Como se ha indicado anteriormente, el autómata incorpora rutinas de auto chequeo, en su monitor rom, que le permiten diagnosticar el estado del programa y del sistema conectado.

- Iniciales: que corren únicamente tras la puesta o reanudación de la tensión.
- Cíclicas: que se repiten continuamente mientras el autómata está ejecutando el programa.

Las iniciales se encargan de comprobar las conexiones físicas del sistema, y de identificar la configuración existente:

- Comprobación de la CPU.
- Comprobación de presencia y del tipo de la memoria de programa.
- Comprobación de interfaces de E/S.

Las rutinas cíclicas: se encargan de comprobar la integridad del programa y de las conexiones de E/S utilizadas en el mismo:

- Comprobación del contenido de memoria de programa.

- Comprobaciones del bus interno y de las correctas transferencias de datos sobre él.
- Comprobación de presencia y del funcionamiento de interfaces de E/S.
- Comprobación del *Watchdog*.

El reloj de guarda (watchdog) es un temporizador interno no accesible por el usuario que fija el tiempo máximo de ejecución de un ciclo de operación. Si este temporizador alcanza el valor prefijado, entre 0,1 y 0,5 s según modelos, el autómata pasa al estado *stop* y se ilumina el indicador *error*. Posibles causas para la activación del reloj de guarda pueden ser:

- Existencia de algún error de sintaxis en el programa, de forma que nunca se alcanza la instrucción END.
- Bloqueo de la comunicación con periféricos externos.
- Avería en el funcionamiento de la CPU, etc.

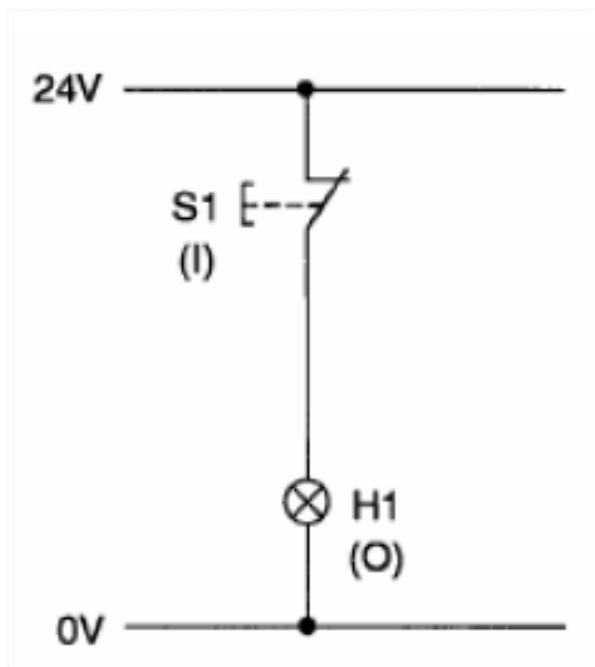
2.5. Funciones lógicas

Cualquier PLC funciona utilizando el sistema de numeración de base 2. Esto se aplica también a los sistemas octal (23) y hexadecimal (24). 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.

2.5.1. Función de negación

El pulsador mostrado representa un contacto normalmente cerrado. Cuando no está físicamente accionado, el piloto H1 está encendido, mientras que en estado accionado, el piloto H1 se apaga.

Figura 20. Diagrama eléctrico de una función NOT



Fuente: elaboración propia.

El pulsador S1 actúa como una señal de entrada, el piloto constituye la salida. El estado actual puede ser registrado en una tabla de la verdad ver tabla III:

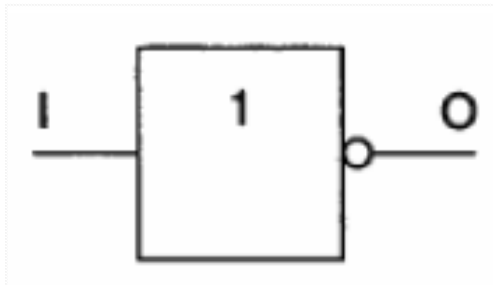
Tabla III. **Tabla de la verdad para función NOT**

I	Q
0	1
1	0

Fuente: elaboración propia.

El símbolo lógico de esta función es:

Figura 21. **Símbolo lógico función NOT**

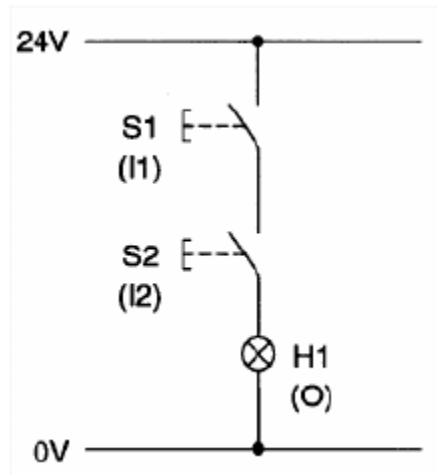


Fuente: elaboración propia.

2.5.2. **Función de conjunción**

Si dos contactos abiertos se conectan en serie, el piloto conectado sólo encenderá, si ambos pulsadores están físicamente accionados.

Figura 22. **Diagrama eléctrico de una función AND**



Fuente: elaboración propia.

La tabla de la verdad asigna la conjunción. La salida asume el valor 1 sólo si ambas entradas I1 e I2 se hallan son señal 1.

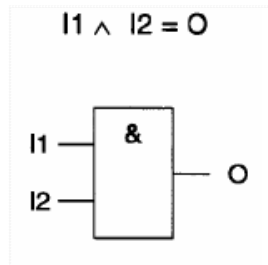
Tabla IV. **Tabla de la verdad de función AND**

I1	I2	I3
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Fuente: elaboración propia.

Esto se conoce como una operación AND (operación Y), que se representa con el siguiente símbolo lógico:

Figura 23. **Símbolo lógico función AND**

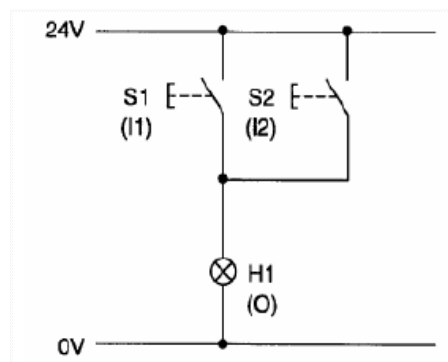


Fuente: elaboración propia.

2.5.3. Función de disyunción

Otra función lógica básica es la función OR (O). Si dos contactos normalmente abiertos se conectan en paralelo, H1 está encendido, siempre que por lo menos uno de los pulsadores se halle físicamente accionado.

Figura 24. **Diagrama eléctrico de una función OR**



Fuente: elaboración propia.

Realización de la V tabla denominada: de verdad donde se representen las condiciones exigidas.

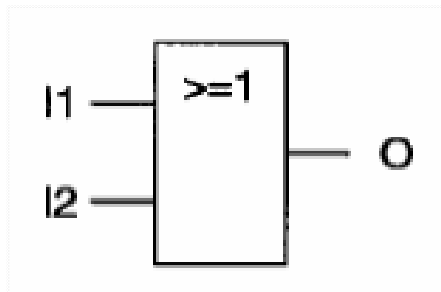
Tabla V. **Tabla de la verdad para función OR**

I1	I2	Q
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Fuente: elaboración propia.

El símbolo lógico de esta función es:

Figura 25. **Símbolo lógico función OR**



Fuente: elaboración propia.

2.6. Lenguajes de programación

Al conjunto de instrucciones, órdenes y símbolos que están disponibles para escribir un programa se le denomina lenguaje de programación del autómata.

La programación puede describirse como la codificación como la codificación al lenguaje del autómatas del conjunto de órdenes que conforman la ley de mando o de control deseada.

El lenguaje a utilizar depende del autómatas empleado y de su fabricante, que decide el tipo de unidad de programación (literal o gráfica) y el intérprete (*firmware*) que utiliza su máquina, mientras que el modelo de representación depende del usuario, que lo elige según sus necesidades o conocimientos.

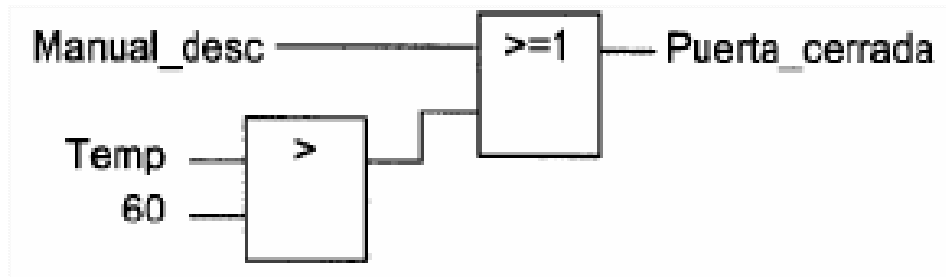
2.6.1. Tipos de lenguaje de programación

IEC 1131-3 define cinco lenguajes de programación. Aunque la funcionalidad y estructura de estos lenguajes es muy diferentes, son tratados como una sola familia de lenguajes IEC 1131-3. IEC 1131-3 es un estándar para la programación, no sólo de un PLC individual, sino también, para sistemas de automatización complejos. Los programas de control para grandes aplicaciones deben ser claramente estructurados para ser inteligibles, fáciles de mantener y si es posible también portátiles, es decir, transferibles a otros sistemas de autómatas.

2.6.2. Diagramas de bloques

El lenguaje de bloques de función es un lenguaje de programación gráfico que es consistente, en la medida de lo posible, con la documentación estándar IEC 617.

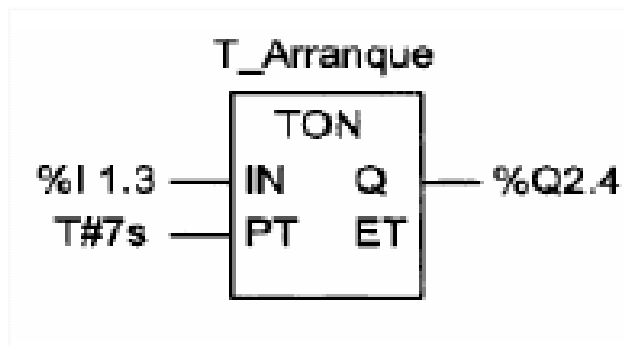
Figura 26. Diagrama de bloque de funciones



Fuente: Manual INTECAP. Programación de PLC. p. 49.

Los elementos del diagrama de bloques de función son funciones representadas gráficamente y bloques de función. Éstas están interconectadas por líneas de flujo de señal, formando una red de trabajo.

Figura 27. Bloque de función



Fuente: Manual INTECAP. Programación de PLC. p. 49.

El retardo de la señal T-arranque se pone en marcha con la entrada I1.3 con el tiempo preestablecido de 7 segundos. Al concluir el retardo en el bloque de función T-arranque se envían un 1 a la variable de salida Q2.4.

La dirección del flujo de señales es una red de izquierda a derecha. Sin un programa consta de varias redes, éstas son procesadas en secuencia de arriba hacia abajo.

La secuencia de procesamiento dentro de un programa puede ser influida por el uso de bloques de función o instrucciones de control de programa; por ejemplo: los saltos condicionales e incondicionales.

IEC 1131-3 define también, los lenguajes de texto estructurado (*Structured Text*) ST y el diagrama de funciones secuencial (Sequential Function Chart) SFC.

2.6.3. Diagrama de escalera

El diagrama de contactos es un lenguaje de programación gráfico derivado de los esquemas de circuitos de los mandos por relés directamente cableados. El diagrama de contactos contiene líneas de alimentación a derecha e izquierda del diagrama; a éstas están conectados los reglones, que se componen de contactos (normalmente abiertos y normalmente cerrados) y de elementos de bobina en diferentes formas.

Figura 28. Estructura básica de un reglón del diagrama de escalera



Fuente: Manual INTECAP. Programación de PLC. p. 31.

La tabla VI tabla contiene una lista de los elementos más importantes asignados a un diagrama de contactos.

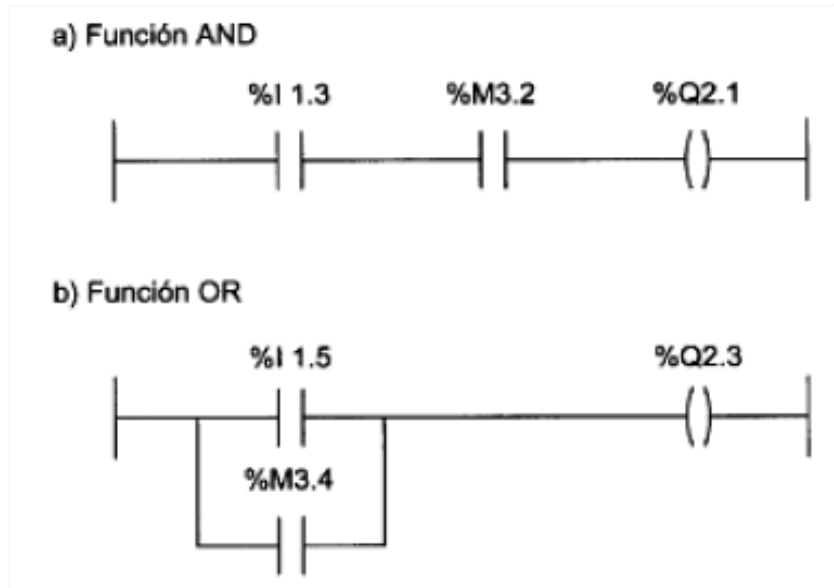
Tabla VI. **Elementos básicos del diagrama de escalera**

Contactos	
	Contacto normalmente abierto
	Contacto normalmente cerrado
	Contacto de flanco positivo
	Contacto de flanco negativo
Bobinas	
	Bobina
	Bobina negada
	Activación de una bobina remanente
	Desactivación de una bobina remanente
	Bobina activada por flanco positivo
	Bobina activada por flanco negativo

Fuente: elaboración propia.

El diagrama en escalera (LD) permite definir fácilmente funciones del álgebra booleana. Esto significa que cualquier función lógica puede ser transcrita directa e inmediatamente a diagrama de contactos.

Figura 29. **Conexiones lógicas en el diagrama de escalera**



Fuente: Manual INTECAP. Programación de PLC. p. 33.

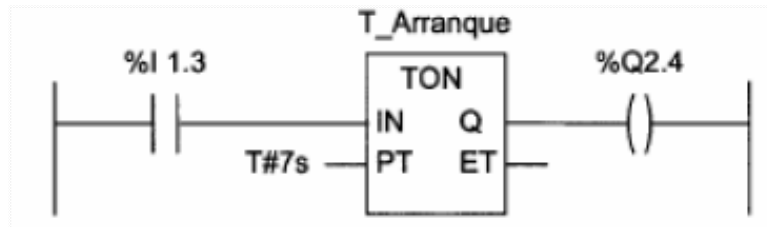
2.6.3.1. **Bloques de función del LD**

Como se describió anteriormente, el diagrama de contactos o diagrama en escalera LD (de origen norteamericano), nació de la transcripción directa de los esquemas eléctricos de relés (circuitos de mando) de uso común en la automatización previa a la aparición de los sistemas programables.

Por esta razón, los diagramas de contactos inducen desde sus orígenes bloques de funciones que ya aparecían como elementos propios en aquellos esquemas, por ejemplo los temporizadores y contadores.

Un requisito para la incorporación de los denominados bloques de funciones, es la disponibilidad de por lo menos una entrada booleana del bloque en cuestión.

Figura 30. **Bloque de función dentro del diagrama de escalera**



Fuente: Manual INTECAP. Programación de PLC. p. 37.

El retardo de la señal de salida solamente se realiza si se aplica una señal 1 a la entrada booleana IN.

La presencia de estos bloques, de ejecución dependiente de una o más condiciones binarias, multiplica la potencia de programación, sin dejar de mantener las ventajas de la representación gráfica del programa. Así, pueden programarse situaciones de automatización compleja que involucren variables digitales, registros transferencias, comparaciones, señales analógicas, etc.

La dirección del flujo de señales en un reglón es de izquierda a derecha. Si un programa consta de varios reglones, éstos son procesados en secuencia de arriba, hacia abajo.

3. FASE DE INVESTIGACIÓN

3.1. Inspección y análisis de la maquinaria

Las prensas troqueladoras que se utilizan para la fabricación de ductos eléctricos con las que cuenta la empresa, fueron adquiridas 1990 y 2005 con el fin de prestar servicios de troquelado y fabricación de piezas metálicas en serie; durante este período el nombre de la empresa era Maquinaria Industrial los Alamos.

Desde la adquisición de la maquinaria hasta la fecha, siempre se han utilizados sistemas manuales para la fijación de los elementos que fijan la materia prima en la posición adecuada donde la máquina efectúa su trabajo, proceso que dependiendo de lo complejo del trabajo puede llevar un tiempo considerable en su realización y posterior prueba.

El proyecto de fabricación de ductos eléctricos fue puesto en marcha en el 2006, desde entonces se ha utilizado los mismos sistemas de fijación en cada máquina que se utilizaban en el momento en que fueron adquiridas; a continuación se describen tales procesos:

- Para iniciar un proceso en la mayoría de las máquinas es necesario colocar manualmente los topes que fijan la materia prima en cada máquina.
- Se realizan varias pruebas para corroborar que los topes estén colocados en la posición correcta.

- Una vez puesta en marcha la máquina, el operario debe accionar manualmente una palanca que activa un disparo de trinquete, el cual hace que la energía almacenada en el volante de la máquina sea transferido al carro porta punzones y éste realice su trabajo.
- Al terminar un proceso de trabajo en toda la materia prima, se deben cambiar los topes manualmente para realizar el siguiente proceso; haciendo previamente varias pruebas para corroborar que cada pieza no tenga fallas.

Los topes de la máquina que se encargan de alinear la materia prima en la posición de trabajo de la máquina son colocados en su posición manualmente, además al terminar cada proceso, otro operario se encarga de contar las piezas procesadas.

Ya que las prensas troqueladoras son máquinas en las cuales se realizan distintos trabajos, es necesario cambiar los topes o matrices constantemente en cada máquina, dependiendo del trabajo que se realice.

Esta maquinaria no cuenta con manual del operario, ni folletos de descripción del equipo; lo que genera una pérdida de tiempo considerable al momento de colocar las matrices a utilizar en cada máquina; El no tener manual de operario, además genera que un proceso que puede ser muy sencillo se torne un uno más complejo por no tener un instructivo el cual indique el procedimiento que se debe seguir.

En la actualidad, el mantenimiento preventivo es realizado por el personal de la empresa. El mantenimiento se divide en dos partes:

- Mantenimiento de la máquina
- Mantenimiento de la matriz

El mantenimiento de la máquina se lleva a cabo de acuerdo a un calendario de trabajo, en el que establece la fecha en que a cada máquina se deberá realizarse un mantenimiento preventivo.

El otro procedimiento es el que se realiza a la matriz o útil que se está utilizando en la máquina. Este mantenimiento preventivo de cada matriz se realiza basado en la cantidad de veces que se ha hecho el trabajo, es decir, se hace cuando se llega a una cantidad específica de piezas trabajadas; dicha cantidad depende del tipo matriz que se esté utilizando, La realización de este mantenimiento permite la disminución de tiempos muertos en la producción ocasionados por fallas en las máquinas.

3.2. Descripción Actual del proceso de troquelado

El proceso de fabricación de ductos eléctricos se describe a continuación, dividiéndose en cada trabajo que se realicen en la máquina correspondiente.

3.2.1. Corte de lámina

La fabricación de los ductos eléctricos inicia en una guillotina industrial en la cual se corta la lámina que será procesada para ser el cuerpo del ducto. El ducto eléctrico está formado por dos partes: el cuerpo del ducto y la tapadera del ducto, éstos son unidos mediante soldadura eléctrica de puntos, en esta máquina se fijan los topes que servirán como guías y determinarán las medidas del ducto; cada vez que se quiera cambiar la medida del ducto o cortar las tapaderas del ducto, se debe cambiar la ubicación de los topes.

La lámina tiene inicialmente, dimensiones de 4 pies de ancho y 8 pies de largo, ésta es alineada en las guías de alimentación por dos operarios, a continuación en la parte frontal de la guillotina otros dos operarios se encargan de revisar que la lámina se encuentre hasta los topes que la fijan y seguidamente accionan la máquina mediante un pedal, el cual necesita del peso de los operarios para realizar su trabajo.

3.2.2. Troquelado de esquinas

Esta operación es realizada en una troqueladora con capacidad de 5 toneladas; en este puesto de trabajo se troquelean en las cuatro esquinas del cuerpo del ducto y en 2 esquinas de la tapadera del ducto, estas dos partes, inicialmente son solamente dos piezas rectangulares de lámina, es necesario que los bordes con filos queden orientados hacia el mismo lado, es decir hacia la parte interna tanto del ducto como de la tapadera.

3.2.3. Troquelado del segmento medio del cuerpo del ducto

La troqueladora que se utiliza tiene una capacidad de 10 toneladas; en esta etapa del proceso los cuerpos de los ductos pasan a una troqueladora de mayor capacidad, debido a que el área de corte es mayor, la pieza se alinea manualmente en el útil o matriz, después éste es accionado por el operario por medio de un pedal, el cual es necesario aplicarle una fuerza suficiente con el pie para vencer la fuerza de un resorte que retiene un disparador de trinquete, el cual acciona la carrera de trabajo de la troqueladora, todas las máquinas troqueladoras de la empresa cuentan con este mecanismo; Después de efectuado el corte en la pieza de metal es necesario empujar hacia abajo la pieza por que el útil no cuenta con expulsor adecuado.

3.2.4. Doblado de lámina

Al llegar este puesto de trabajo, las piezas se deben fijar manualmente a los topes de la máquina a la medida del largo que se quiere doblar, además se debe calibrar la carrera de la máquina para fijar el ángulo de doblado que se requiere en la pieza. La fijación de los topes es realizada por un operario. En este proceso se deben doblar dos lados del cuerpo del ducto, la lámina se desliza por las guías de la troqueladora hasta el tope previamente fijado, después es accionada la máquina mediante un pedal, en seguida se coloca la parte opuesta de la pieza de trabajo y se repite la operación. De esta forma, ambos lados de la pieza son dobladas a un ángulo específico.

3.2.5. Prensado de pestaña

Las piezas, previamente dobladas, son trasladadas a esta troqueladora, la cual se encarga de prensar uno de los lados doblados de la pieza, esta operación se hace con el objetivo de crear rigidez y un área mayor resistente en uno de los extremos del cuerpo del ducto, debido a que en esta área se unirán dos bisagras de bandera por medio de soldadura de puntos; la operación inicia deslizando la pieza en las guías de la máquina hasta los topes móviles de ésta, en seguida es accionada por el operario mediante un pedal que activa la carrera de trabajo de la máquina, esta operación es realizada por un operario.

3.2.6. Doblado de lámina

Después del proceso de prensado del cuerpo del ducto, las piezas regresan a la máquina que realiza el doblado, antes de iniciar se debe cambiar manualmente los topes de la máquina a la medida que se requiera. En este puesto de trabajo se llevará a cabo tres dobleces en la lámina, por lo que es necesario cambiar ese mismo número de veces los topes que determinan las

medidas del cuerpo del ducto. En estos tres dobleces de diferentes medidas, la lámina es deslizada hasta el tope y al estar alineada se acciona mediante un pedal al igual que las otras troqueladoras. En la actualidad es necesario hacer el primer dobles en todos los cuerpos del ducto que se están procesando para después cambiar los topes y realizar nuevamente el siguiente doblado de lámina en todas las piezas, este procedimiento crea un cuello de botella en la producción porque a diferencia de los demás procesos es necesario esperar que todas las piezas que se están trabajando pasen por los tres procesos de doblado de lámina para poder continuar al siguiente paso.

3.2.7. Doblado de pestañas

En este puesto de trabajo se termina el proceso en el área de troqueladoras del ducto eléctrico, aquí se doblan las pestañas de los extremos hacia adentro, manualmente.

3.3. Análisis de las características de funcionamiento de cada máquina

Para el análisis de las características de las máquinas que se utilizan en la fabricación de ductos eléctricos se pueden dividir las áreas de trabajo en cinco procesos:

- Cizallado
- Troquelado
- Punzonado
- Doblado
- Prensado

A continuación se describen estos cuatro procesos y las máquinas en que se realizan.

3.3.1 Cizallado

Es un proceso de corte para láminas y placas, produce cortes sin que haya virutas, calor ni reacciones químicas. El proceso es limpio rápido y exacto, pero está limitado al espesor que puede cortar la máquina y por la dureza y densidad del material. El cizallado es el término empleado cuando se trata de cortes en línea recta; el corte con formas regulares redondas u ovaladas e irregulares se efectúan con punzón, cortado y perforación. El cizallado suele ser en frío, en especial con material delgado de muchas clases, tales como: guillotinado de papeles de fibras, telas, cerámica, plásticos, caucho, productos de madera y la mayoría de los metales.

El cizallado, llamado también guillotinado, en ciertas actividades se hacen en frío en la mayoría de los materiales. En general, es para cortes rectos a lo ancho o a lo largo del material, perpendicular o en ángulo. La acción básica del corte incluye bajar la cuchilla hasta la mesa de la máquina, para producir la fractura o rotura controladas durante el corte. La mayoría de las cuchillas tienen un pequeño ángulo de salida. Para ciertas operaciones específicas como punzonado o perforado, no existen esos ángulos de alivio.

El cizallado o guillotinado puede emplearse con una gran variedad de materiales para cortar papel o refinar libros y en la cizalla para lámina.

3.3.2. Guillotina

Como ya se ha mencionado, las cizallas de guillotina para metales son máquinas utilizadas para operaciones de corte de metales (hierro, acero,

aluminio, etc.) de espesores hasta 25 mm y con velocidades de corte de hasta 120 golpes por minuto.

El corte es efectuado por una estampa de corte formada por dos cuchillas, las cuales disponen normalmente de cuatro ángulos de corte.

La cuchilla inferior va sujeta a la mesa y la superior, bien a la corredera si se trata de cizallas de guillotina con cuello de cisne o al puente porta-cuchillas si son cizallas sin cuello de cisne.

La técnica del proceso consiste en:

- Colocación sobre la mesa de la chapa a cortar.
- Situación de la chapa en posición de corte (operación que se realiza con la ayuda de reglas graduadas situadas en los soportes delanteros y la galga de tope trasero o bien con la lectura de indicadores automáticos).
- Descenso de la corredera con la cuchilla, para que se efectúe el corte de la chapa.
- La chapa una vez cortada cae por la parte posterior de la máquina al suelo o bien dentro de un sistema de recogida dispuesto para tal fin y la corredera queda inmovilizada en el punto superior.
- Un nuevo ciclo puede ser iniciado.

La guillotina que se utiliza para el proceso de corte de lámina, tiene la capacidad para cortar hasta un espesor de 3/64 de pulgada en lámina de hierro

dulce y un promedio de 2 cortes por minuto, dependiendo del largo de corte y el espesor de chapa con el que se esté trabajando.

Figura 31. **Parte frontal de la guillotina**



Fuente: Maquinaria Industrial los Álamos. p. 12.

3.3.3. Troquelado

La característica del proceso de troquelado es la aplicación de grandes fuerzas por herramientas para prensas durante un corto intervalo de tiempo, lo cual resulta en el corte (cizallado) o deformación del material de trabajo

Una operación de troquelado completada de ordinario por la simple acción de presión, resulta con frecuencia en la producción de una parte terminada en menos de un segundo

Las fuerzas de troquelar se producen, guían y controlan en una máquina referida como prensa troqueladora.

3.3.4. Acción de cizallamiento en operaciones de corte por troquel

El corte del metal entre los componentes del troquel es un proceso de cizallamiento en el cual el metal es sometido a esfuerzo de cizallamiento entre dos bordes cortantes hasta el punto de fractura, o más allá de su última resistencia.

El metal es sometido a esfuerzos tanto de tensión como de compresión; se produce alargamiento más allá del límite elástico; a continuación deformación plástica, reducción en área, y, finalmente, comienza la fractura a través de planos de desprendimiento en el área reducida y se vuelve completa.

La presión aplicada por el punzón sobre el metal tiende a deformarlo dentro de la abertura de la matriz. Cuando el límite elástico es excedido por una carga posterior, una porción del metal será forzada dentro de la abertura de la matriz en la forma de un postizo en relieve sobre la cara inferior del material. Según sigue aumentando la carga, el punzón penetrará en el metal a cierta profundidad y forzará una porción del metal del mismo espesor dentro de la matriz; esta penetración ocurre antes de que comience la fractura y reduce el área transversal del metal que se está haciendo el corte. Las fracturas comenzarán en el área reducida tanto en el borde cortante superior como en el inferior. Si la holgura es adecuada para el material que está siendo cortado, estas fracturas se extenderán unas hacia las otras y eventualmente se juntarán, causando la separación completa. La continuación en el recorrido del punzón llevará la porción cortada a través del material y dentro de la matriz.

3.3.5. Prensas mecánicas

Esencialmente, una prensa se compone de un marco o bastidor, una mesa o placa de apoyo y un miembro de movimiento alternativo llamado ariete o corredera, el cual ejerce la fuerza sobre el material de trabajo por medio de herramientas especiales montadas sobre la mencionada corredera y la mesa.

Una prensa debe estar equipada con matrices y punzones diseñados para ciertas operaciones específicas. La mayoría de operaciones de formado, punzonado y cizallado, se pueden efectuar en cualquier prensa normal si se usan matrices y punzones adecuados.

Las prensas tienen capacidad para la producción rápida, puesto que el tiempo de operación es solamente el que necesita para una carrera del ariete, más el tiempo necesario para alimentar el material. Por consiguiente se pueden conservar bajos costos de producción.

Tiene una adaptabilidad especial para los métodos de producción en masa, como lo evidencia su amplia aplicación en la manufactura de piezas para automóviles y aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios de cocina.

El tipo de operación a desarrollar, tamaño de la pieza, potencia requerida, y la velocidad de la operación; para la mayoría de las operaciones de punzonado, recortado y desbarbado, se usan, generalmente, prensas del tipo manivela o excéntrica. En estas prensas, la energía del volante se puede transmitir al eje principal, ya sea directamente o a través de un tren de engranes.

La energía almacenada en el volante giratorio de una prensa mecánica o provista con un sistema hidráulico en una prensa hidráulica es transferida al

ariete o corredera para su movimiento lineal. Una prensa inclinable de fondo abierto y bastidor en C de extenso uso, tiene un bastidor con la forma de una C que permite el acceso al espacio de trabajo (entre la mesa y la corredera o ariete). El bastidor puede ser inclinado a un ángulo con la base, permitiendo la disposición por gravedad de las partes terminadas. El fondo abierto permite la alimentación y descarga del material en bruto, piezas de trabajo y partes terminadas a través del mismo.

Los componentes principales de la prensa son:

- Una mesa rectangular, parte del bastidor, abierta de ordinario en su centro, la cual soporta a la placa de apoyo.
- Una placa de apoyo, placa de acero, plana de 2 a 5 pulgadas (50 a 125 milímetros) de espesor, sobre la cual se montan las herramientas y accesorios de troquelar. Se dispone de placas de apoyo que tienen dimensiones y aberturas estandarizadas de los fabricantes de prensas.
- Un ariete o corredera que se mueve a través de su carrera, una distancia que depende del tamaño y diseño de la prensa. La posición del ariete, pero no la de su carrera, puede ajustarse. La distancia desde la parte superior de la mesa (o apoyo) a la parte inferior de la corredera, junto con su carrera abajo y su ajuste arribas, se llama altura de cierre de la prensa.
- Un expulsor, mecanismo que funciona sobre la carrera ascendente de una prensa, el cual expulsa a las piezas de la herramienta de la prensa.

Para el corte por troquelado del segmento medio se utiliza una prensa con capacidad dimensiones de.

Estas máquinas cuentan con un juego de matrices para corte del material de acuerdo a su diseño.

Figura 32. **Parte frontal de troqueladora de esquinas**



Fuente: Maquinaria Industrial los Álamos. p. 14.

Figura 33. **Parte frontal de troqueladora de segmento medio**



Fuente: Maquinaria Industrial los Álamos. p. 15.

3.3.6. Punzonado

Es la operación en la cual un punzón redondo (o de otro contorno) corta un agujero en el material de trabajo que es soportado por una matriz que tiene una abertura correspondiendo, exactamente, con el contorno del punzón. El material cortado del material de trabajo es, con frecuencia, desperdicio; El punzonado es una operación de corte de chapas o láminas, generalmente en frío, mediante un dispositivo mecánico formado por dos herramientas: el punzón y la matriz. La aplicación de una fuerza de compresión sobre el punzón obliga a éste a penetrar en la chapa, creando una deformación inicial en régimen elastoplástico seguida de un cizallamiento y rotura del material por propagación rápida de fisuras entre las aristas de corte del punzón y matriz. El proceso termina con la expulsión de la pieza cortada.

Figura 34. **Parte frontal de troqueladora de punzonado**



Fuente: Maquinaria Industrial los Alamos. p. 15.

3.3.7. Doblado

El doblado es la deformación uniforme de un material, de ordinario lámina plana o tira de metal, alrededor de un eje recto que descansa en el plano neutral y normal a la dirección longitudinal de la hoja o tira. El flujo de metal se produce dentro de la zona plástica del mismo, de manera que el doblez retiene una posición permanente después de la remoción de las fuerzas aplicadas. La superficie interior de un doblez está en compresión; la superficie exterior está en tensión. La pura acción dobladora no reproduce la forma exacta del punzón y de la matriz en el metal, tal reproducción es la del conformado.

3.3.7.1. Radio de curvatura

El radio de curvatura mínimo varía para los diversos metales, en general, la mayor parte de los metales recocidos pueden ser doblados a una radio igual al grueso del metal sin rajaduras o debilitamiento.

3.3.7.2. Tolerancias para doblado

Como el material para doblar es más largo después de doblado, su aumento en longitud, generalmente es de la incumbencia del diseñador del producto, tiene que ser considerada también, por el diseñador del troquel si la tolerancia en longitud de la parte a doblar es crítica.

En las prensas troqueladoras se hace uso comúnmente, de dos métodos para doblar. La hoja o tira de metal, soportada por un bloque en V, es forzada por un punzón en forma de cuña adentro del bloque. Este método, nombrado doblado en V, produce un doblez que tiene un ángulo incluido que puede ser agudo, obtuso o de 90°.

Figura 35. **Parte frontal de troqueladora para doblado de lámina**



Fuente: Maquinaria Industrial los Álamos. p. 16.

3.3.8. Prensado

Es una operación básica con la prensa troqueladora, que consiste en la aplicación de esfuerzos impuestos por la máquina a un área específica de la pieza y así poder hacer una curva de 180° sobre el material, siendo de dimensiones considerablemente pequeñas, haciendo esta operación con los objetivos de que no queden expuestos los filos cortantes del material y aumentar la rigidez de la pieza.

Figura 36. **Parte frontal de troqueladora para prensado**



Fuente: Maquinaria Industrial los Álamos. p. 16.

3.4. Evaluación del proceso actual de las máquinas

Para evaluar el proceso de fabricación actual de los ductos eléctricos, como anteriormente se ha hecho, se evaluará cada área de trabajo independientemente.

3.4.1. Corte de lámina

- Tiempo promedio de corte de lámina: 2 cortes por minuto
- Tiempo promedio para la colocación y fijación de topes en la máquina: 60
- Operarios necesarios para efectuar el proceso: 4
- Operarios necesarios para colocación de topes: 2

3.4.2. Troquelado de esquinas

- Tiempo promedio de troquelado de lámina: 3 cortes por minuto.
- Tiempo promedio para la colocación y fijación de topes en la máquina: 60 minutos.
- Operarios necesarios para efectuar el proceso: 1.
- Operarios necesarios para colocación de topes: 1.

3.4.3. Punzonado

- Tiempo promedio de punzonado de lámina: 3 punzonados por minuto.
- Tiempo promedio para fijación y colocación de topes en la máquina: 60 minutos.
- Operarios necesarios para efectuar el proceso: 1.
- Operarios necesarios para la fijación de topes: 1.

3.4.4. Troquelado de Segmento medio

- Tiempo promedio de troquelado de lámina: 2 cortes por minuto.
- Tiempo promedio para fijación y colocación de topes en la máquina: 60 minutos.
- Operarios necesarios para efectuar el proceso: 1.
- Operarios necesarios para la fijación de topes: 1.

3.4.5. Doblado de lámina

- Tiempo promedio de troquelado de lámina: 2 dobleces por minuto.
- Tiempo promedio para fijación y colocación de topes en la lámina: 60 minutos.

- Cantidad de cambios de topes para terminar los dobleces de una pieza: 3 veces.
- Operarios necesarios para el proceso: 1.
- Operarios necesarios para la fijación de topes 2.

3.5. Establecer los factores a considerar para la utilización de los elementos de un sistema secuencial neumático

Se deben tomar en cuenta las ventajas y limitaciones de dicho sistema:

3.5.1. Ventajas

- Uno de los principales factores para la propuesta de este proyecto, es que se propone un incremento considerable en la producción de ductos eléctricos con una inversión relativamente pequeña.
- La rapidez en movimientos neumáticos y la liberación del operario en efectuar ejecuciones repetitivas, potencian el aumento del ritmo de trabajo, aumentan la productividad y, por tanto se reducen los costos operacionales.
- La facilidad de implantación, puesto que con pequeñas modificaciones en las prensas troqueladoras, junto a la disponibilidad del aire comprimido, son los requisitos necesarios para la implementación de los controles neumáticos.
- La robustez inherente a los controles neumáticos los convierte relativamente insensibles a vibraciones y golpes, permitiendo que

acciones mecánicas del propio proceso sirvan de señal para las diversas secuencias de operación.

- Los controles neumáticos no necesitan de operadores súper-especializados para su manipulación.
- Como los equipos neumáticos implican siempre presiones moderadas, llegan a ser seguro contra posibles accidentes: en los equipos y con el personal, además de evitar problemas de explosiones.
- Reducción del número de accidentes. La fatiga del operador es uno de los principales factores a crear accidentes laborales; y con la implementación de controles neumáticos, se reduce su incidencia (menos operaciones repetitivas).

3.5.2. Limitaciones

- El aire comprimido necesita de una buena preparación para realizar el trabajo propuesto: se debe retirar las impurezas, eliminar la humedad para evitar corrosión en los equipos, atascamientos u obstrucciones, así como mayores desgastes en partes móviles del sistema.
- Los componentes neumáticos son normalmente proyectados y utilizados en una presión máxima de 1723,6 kPa. Por lo tanto, las fuerzas envueltas son pequeñas comparadas a otros sistemas. De esta manera, no es conveniente el uso de controles neumáticos en operaciones de extrusión de metales, operación que no se realiza dentro de la empresa, pero su uso es de gran ventaja para operaciones de colocación.

- Velocidades muy bajas son difíciles de ser obtenidas con el aire comprimido, debido a sus propiedades físicas. En este caso, se recurre a otro tipo de sistemas.
- El aire es un fluido altamente comprensible, por lo tanto, es imposible conseguir paradas intermedias y velocidades uniformes. El aire comprimido es un contaminante del medio cuando se efectúa las liberaciones de aire (contaminación sonora) hacia la atmósfera. Esta contaminación puede ser evitada con el uso de silenciadores en los orificios de escape.

3.6. Establecer los factores a considerar para la correcta selección de autómatas

En el supuesto de que se adopte la solución autómatas para implementar el algoritmo de control de determinada aplicación, se plantea ahora la necesidad de seleccionar, de entre la amplia oferta del mercado, el equipo más adecuado. Como en otros casos, la decisión debe basarse en análisis sistemático de una serie de factores, pero considerando no solo las características actuales de la tarea de control, sino también las necesidades futuras en función de los objetivos de la empresa.

3.6.1. Factores cuantitativos

Se refieren a la capacidad del equipo para soportar todas aquellas especificadas para el sistema de control y se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- Entradas/salidas (E/S): cantidad, tipo, prestaciones, ubicación, etc.

- Tipo de control: control de una o varias máquinas, proceso, etc.
- Memoria: cantidad, tecnología, expandibilidad, etc.
- Software: conjunto de instrucciones, módulos de programa, etc.
- Periféricos: equipos de programación, dialogo hombre – máquina, etc.
- Físicos y ambientales: características constructivas, banda de temperatura

3.6.2. Entradas / salidas (E/S)

Determinar la cantidad de señales de entrada y de salida, tanto discreta como numéricas y analógicas, lo que debe ser capaz de tratar el equipo es el primer trabajo a realizar al iniciar la implementación del sistema de control. No hay más remedio que contar el número de dispositivos cuyo estado hay que leer o gobernar. Una vez obtenidas estas cantidades es muy recomendable reservar espacio para futuras ampliaciones (entre un 10 y un 20%).

Los fabricantes ofrecen una gran diversidad de soluciones en cuanto a las características constructivas y funcionales de los elementos del sistema de entrada / salida.

En cuanto a las E/S de señal analógica se encuentran las adecuadas para el tratamiento de señales, procedentes de instrumentación de campo (caudal, temperatura, presión, etc.) y para la regulación (variación de velocidad, válvulas motorizadas, etc.) con las bandas de trabajo más usuales. En las características del módulo del fabricante debe especificar los parámetros de precisión de la conversión. Algunos fabricantes ofrecen módulos para señales de bajo nivel.

3.6.3. Tipo de control

En aplicaciones en las que se pretende el control de varias áreas o máquinas interdependientes, pero con funciones autónomas, se plantea la disyuntiva de optar por el control centralizado o por el control distribuido.

La importancia de dichas funciones por sí solas, o la posibilidad de subdividir la tarea de control del proceso o conjunto de máquinas en esas funciones autónomas, determinará en muchos casos la elección de un tipo u otro de control.

El control centralizado presenta el inconveniente de que si el autómata falla (particularmente la unidad central), se produce una parada total de la instalación. En los sistemas de control centralizado donde la disponibilidad del equipo es fundamental.

La opción de control distribuido requiere que puedan considerarse máquinas o grupos de máquinas o áreas funcionales del proceso susceptibles de ser definidas por un algoritmo de control. A cada una de ellas se destinará un autómata dimensionado de acuerdo con los requerimientos de aquella área.

Debido a la interdependencia que existe entre las operaciones que tienen lugar en cada área, hay que tener en cuenta que es necesario interconectar los autómatas entre sí o a través de una red de comunicaciones en área local para intercambio de datos y estados de E/S; por tanto, el autómata evaluado debe permitir las comunicaciones.

3.6.4. Memoria

En este aspecto es necesario considerar dos características principales: tamaño y tipo de la memoria.

En general las unidades centrales incorporan una cantidad de memoria acorde con su capacidad de control y la potencia del conjunto de instrucciones con las que opera. Para mejor adaptarse a cada aplicación por razones económicas, un mismo equipo suele presentarse con distintas opciones de cantidad de memoria 1 K, 2 K, 4 K, etc. o bien ofrecer la posibilidad de ampliación de una cantidad de memoria de base ya instalada.

La ampliación se hará sobre el propio procesador mediante circuitos integrados o bien mediante módulo de memoria. En cualquier caso la posibilidad de expansión futura de la memoria debe existir para no encontrarse con la necesidad de sustituir toda una unidad central.

No existe una regla fija para la evaluación de la cantidad de memoria necesaria para una determinada aplicación, aunque existen ciertas fórmulas de aproximación, como por ejemplo multiplicar el número total de E/S discretas por un factor (entre 5 y 10 dependiendo del equipo empleado). El valor obtenido debe ser incrementado considerablemente en el caso que el programa incluya cálculos de cierta complejidad, con variables numéricas y datos (número total de variables numéricas por un factor entre 15 y 30).

También para la memoria es altamente recomendable considerar un porcentaje adicional de reserva. Debido a la flexibilidad del autómata es frecuente que el usuario, una vez resuelto el problema de control fundamental de su instalación, se plantee el obtener tal o cual información del proceso u optimizar tal o cual operación, ya que los datos y señales existen ya en el

control. Esto es cierto, pero hay que programar las instrucciones que ejecuten esas nuevas funciones en la memoria restante o acudir a una ampliación.

El tipo o tecnología de la memoria empleada dependerá de la aplicación concreta. En ciertas aplicaciones es necesario introducir cambios en la secuencia de control con cierta frecuencia, sin posibilidad de detener su funcionamiento; esto solo es posible cuando se está trabajando con una memoria del tipo RAM, por tanto volátil y que requiere un soporte de batería.

En cambio los fabricantes de maquinaria una vez desarrollado, probado y depurado el programa, estarán más interesados en trabajar con memoria permanentes del tipo EPROMM o EEPROM, que proporcionan un medio muy fiable de almacenamiento del programa. En algunos equipos se ofrece la posibilidad de disponer de ambos tipos de memoria, permanente y volátil, en una misma unidad, de forma que el usuario tiene la posibilidad de modificar con facilidad algunas secuencias.

3.6.5. Sistema operativo

Con el algoritmo de control definido, el programador tendrá una referencia clara del tipo de instrucciones que son necesarias para programar las secuencias lógicas definidas, pero también de aquellas funciones especiales, particularmente cálculos y tratamiento de datos, comunicaciones, regulación, etc., que requieren instrucciones especiales. Un potente conjunto de instrucciones facilitará la tarea de programación y por lo tanto reducirá el tiempo empleado, y en general reducirá el tiempo de respuesta.

También hay que considerar las instrucciones que permiten el control del ciclo de ejecución, la posibilidad de organización del programa en módulos funcionales y la existencia de una biblioteca de secuencias preprogramadas,

que simplemente con personalizar parámetros y direcciones de variables que pueden emplearse en el propio programa.

3.6.6. Periféricos

Los fabricantes ofrecen distintos niveles de equipos de programación, cuya utilidad depende el tipo de empleo a que se destinen; así los pequeños terminales tipo calculadora son de gran utilidad y económicos cuando se emplean como unidad de monitorización y para pequeñas modificaciones en planta, o para la programación de pequeños sistemas. Sin embargo, trabajar con ellos en programas complejos, puede ser molesto.

En las consolas con pantalla CRT aportan una mayor comodidad, así como un gran número de opciones de interconexión a otros periféricos, particularmente impresoras y unidades de cinta (cassette o streamer), algunos de estos equipos llamados terminales inteligentes, permiten la programación autónoma (*off – line*), incorporan medios de archivo de programas (discos o cintas) y también capacidad de representación de gráficos.

Actualmente se ofrecen elementos para la programación mediante los ordenadores PC, lo que abre la posibilidad de disponer de un potente equipo de programación (varios lenguajes, gestión de producción, etc.) a un costo aceptable, si se considera que es un equipo multiuso.

Respecto a otros periféricos en cada caso hay que comprobar que el autómatas permite la interconexión a los que se considere fomen parte del sistema de control: impresoras, monitores, unidades de disco, visualizadores y teclados alfanuméricos, unidades de cinta, etc.

3.6.7. Físicos y ambientales

Las características, en cuanto a los materiales empleados, formas de presentación y dimensiones, deben ser analizadas en función de las condiciones mecánicas de la aplicación: aspectos como la forma de realizar el conexionado de los dispositivos de E/S, la existencia en los módulos de reservas para identificación de E/S, y otros, pueden ser importantes en relación al personal que debe realizar la instalación y al que deba mantenerla. En cada caso hay que valorar las condiciones ambientales de la instalación, polvo, humedad, temperatura, y considerar la necesidad de tomar precauciones al respecto.

En general, los fabricantes realizan una serie de pruebas cuyos resultados se reflejan en las características técnicas de los equipos: banda de temperatura de trabajo y almacenaje, vibración soportada, nivel de interferencia, etc.

3.6.8. Factores cualitativos

En muchas ocasiones la decisión se basa en criterios comerciales y en general limitados al aspecto económico de la adquisición, pero hay que tener en cuenta otros aspectos que en definitiva tendrán una mayor influencia a medio plazo. Es el momento de evaluar factores menos tangibles que se ocultan en las mismas características del equipo y en las del fabricante o el suministrador del autómata.

En muchas ocasiones la decisión se basa en criterios comerciales y en general limitados al aspecto económico de la adquisición, pero hay que tener en cuenta otros aspectos que en definitiva tendrán una mayor influencia a medio plazo. Es el momento de evaluar factores menos tangibles que se ocultan en

las mismas características del equipo y en las del fabricante o el suministrador del autómeta.

3.6.9. Ayudas al desarrollo del programa.

Proporcionadas por las herramientas de programación ofrecidas y que en un primer nivel se refieren a los analizadores de sintaxis en curso de programación, la indicación inmediata de la transgresión de las normas o formatos de programación. Siguen: la potencia de los mandatos de edición y modificación, referencias cruzadas, visualización dinámica e histogramas de contactos.

Otras ayudas son los medios de documentación del programa, tanto en lo que se refiere a listado de instrucciones, listado de referencias cruzadas, como la posibilidad de edición de un manual de la instalación que incluya el conexionado de E/S, situación física de módulos componentes, etc.

En las fases de puesta a punto suele ser interesante disponer del mandato de imposición de condición o forzado, tanto lo que se refiere a E/S como a variables internas. Este mandato permite que el usuario determine el estado o valor de la variable independientemente del que le corresponda por el desarrollo del proceso o del programa.

Estas ayudas reducen los tiempos de programación, y puesta a punto que constituyen siempre un costo significativo en los sistemas programables.

3.6.10. Fiabilidad del producto

Este es un factor de particular importancia, si se tiene en cuenta que una falta de fiabilidad se traduce directamente en tiempos de parada y por tanto, costos de producción.

Un indicador de la fiabilidad lo constituyen los parámetros del tiempo medio entre fallos, que a buen seguro el fabricante está dispuesto a proporcionar, al igual que otros datos, acerca de su control de calidad en curso de fabricación.

Otro indicador lo constituyen las experiencias de otros usuarios y la existencia de otras instalaciones similares en las que el equipo ha probado su valía; es importante consultar acerca de su experiencia con el equipo y la firma.

3.6.11. Servicio del suministrador

Ya en los primeros contactos con los potenciales suministradores se puede obtener una idea de la capacidad y voluntad del soporte técnico que el vendedor está en condiciones de ofrecer. Es particularmente indicativa la respuesta que el suministrador es capaz de dar a cuestiones preliminares, que no se hallan de forma explícita en los catálogos.

La formación del personal de programación o de mantenimiento, es un tema importante, ya que cuanto mejor se conozcan y comprendan las características y prestaciones del equipo, mayor rendimiento se obtendrá de él.

Los suministradores ofrecen cursos de formación en sus instalaciones, aunque también es posible acordar cursos en planta que permiten al usuario formar a un mayor número de técnicos.

Los cursos suelen contratarse, aunque en ocasiones se ofrecen gratis con la compra del equipo; este es un punto a acordar en el momento de cerrar la adquisición.

Una vez instalado el equipo, adquiere importancia la asistencia técnica. Esta asistencia puede abarcar desde un servicio de consulta a un técnico de servicio al lugar de la instalación.

Otro elemento de gran valía es la disponibilidad de una buena información técnica que cubra tanto los aspectos de instalación y programación como el mantenimiento. La información debe estar bien organizada, debe ser clara y con ilustraciones de calidad y es deseable que incluya ejemplos y notas de aplicación (para una mejor explotación de las instrucciones de programación).

Por último, hay que considerar la disponibilidad del producto y de recambios. La disponibilidad de recambios en un tiempo mínimo es fundamental, ya que, aunque deben existir recambios en el almacén de mantenimiento, no es posible ni rentable cubrir la totalidad de componentes.

3.6.12. Normalización en planta

Pueden considerarse dos posturas respecto a la normalización de una determinada firma para cubrir todas las necesidades de empleo de autómatas:

Actualmente, los fabricantes ofrecen familias de productos compatibles entre sí que cubren todas las necesidades, desde pequeños sistemas hasta aquellos capaces de controlar miles de E/S, que pueden comunicar a través de redes locales, y se configuran empleando componentes de E / S comunes a todos los modelos.

En este aspecto la adopción de una sola marca cubre todas las necesidades y presenta las siguientes ventajas:

- La formación del personal respecto a nuevos componentes es simplemente una ampliación de conocimientos previos.
- Se reduce el *stock* de recambios distintos.
- Una unidad que se amplíe, en todo caso requerirá simplemente el cambio de la unidad central por otra más potente o añadir más memoria a la existente y reprogramar.

Por otra parte, existe un factor de riesgo en la dependencia única de un solo suministrador. Además, los productos de distintos fabricantes no son intercambiables por ahora, lo que complica la situación. Hay que pensar con más de una marca (dos a lo sumo) de forma que el personal técnico esté formado en el empleo de un tipo de equipo, y tener una alternativa cada vez que se presenta una nueva aplicación.

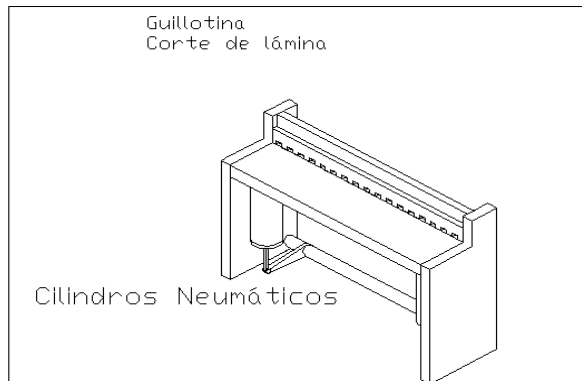
Las desventajas originales que representa tener que conocer dos o tres sistemas distintos, probablemente con lenguaje distintos y equipos de programación propios, van desapareciendo por la mayor similitud de los equipos actuales, las opciones de programación a través del ordenador, la disponibilidad de módulos de interconexión entre unidades de distintos fabricantes y la interconectabilidad de redes locales.

4. DISEÑO DE SISTEMA NEUMÁTICO ASISTIDO POR UN AUTÓMATA

4.1. Diseño de circuitos secuenciales neumáticos

El propósito de diseñar un circuito secuencial neumático es mejorar la eficiencia de un proceso, el cual opera bajo ciertas especificaciones. En este caso, se desea diseñar un circuito neumático para la aplicación de varios procesos en diferentes máquinas; guillotina, prensas troqueladoras, dobladoras de lámina. A continuación se presentan los sistemas neumáticos propuestos en las máquinas.

Figura 37. **Guillotina con sistema neumático**

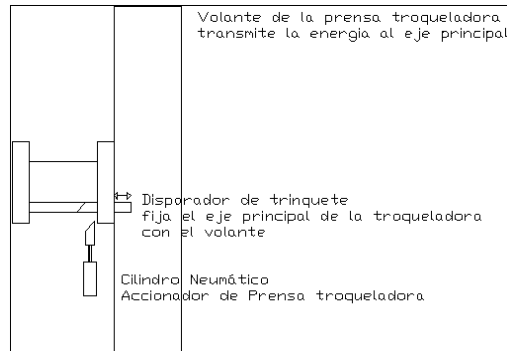


Fuente: elaboración propia.

En este caso, los cilindros neumáticos realizan el trabajo, ejerciendo una fuerza capaz de realizar los cortes sobre la lámina, además de que el autómata

proporciona la ventaja de realizar operaciones de conteo, sistema de alarma y programación de la cantidad de cortes.

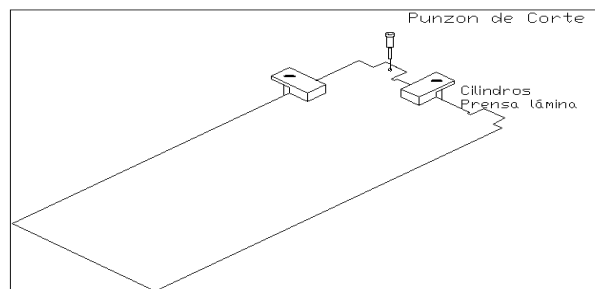
Figura 38. **Accionador de troqueladora con sistema neumático**



Fuente: elaboración propia.

Este mecanismo de accionamiento de la troqueladora es del mismo tipo en todas las máquinas, por lo cual solamente se representará una vez, en él se utiliza un cilindro neumático para liberar el trinquete que fija el eje principal de la máquina con el volante, transmitiendo la energía de la máquina hacia el carro móvil y éste a su vez, al útil o matriz que realiza el corte en la lámina.

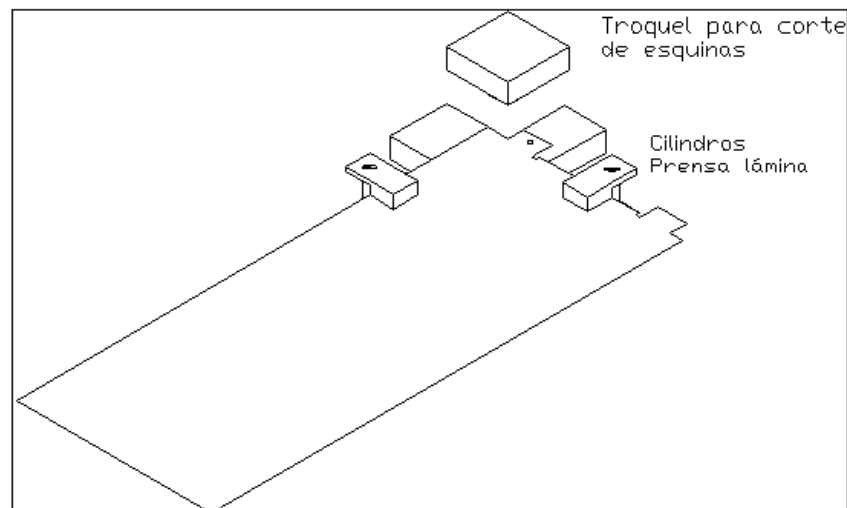
Figura 39. **Punzonado de lámina con cilindros neumáticos prensa lámina**



Fuente: elaboración propia.

Como ya se mencionó en este proceso se troquela un agujero redondo en la lámina, el sistema neumático fija la pieza a la mesa de la prensa, y después activa la carrera de trabajo de la prensa troqueladora.

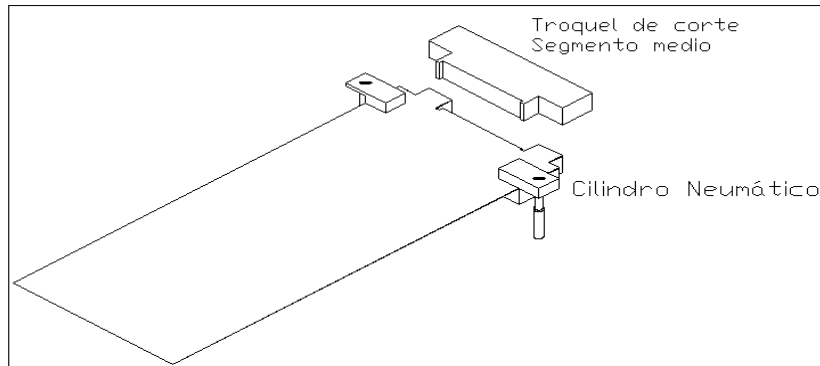
Figura 40. **Corte de esquinas con cilindros neumáticos prensa lámina**



Fuente: elaboración propia.

En la figura 40 se representa el corte de la esquina de la lámina por medio de un útil, fabricado de tal forma que cumpla con los requerimientos, el autómatas se encarga de sujetar la pieza, activando los cilindros neumáticos que ejercen una fuerza capaz de inmovilizar la lámina al momento de ser cortada, además de que proporciona mejor exactitud, también permite que el operador tenga sus manos a mayor distancia del área de trabajo.

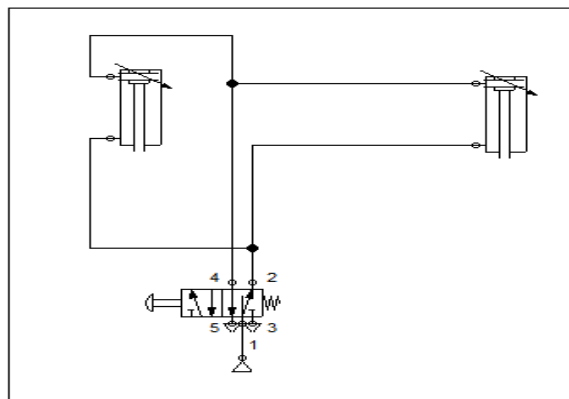
Figura 41. **Corte de segmento medio con cilindros neumáticos prensa lámina**



Fuente: elaboración Propia.

En la figura 42 se presenta el diagrama neumático para el corte de lámina realizado en la guillotina, este es un circuito sencillo debido a que únicamente cuenta con dos cilindros de doble efecto que efectúan sus carreras de trabajo al mismo tiempo.

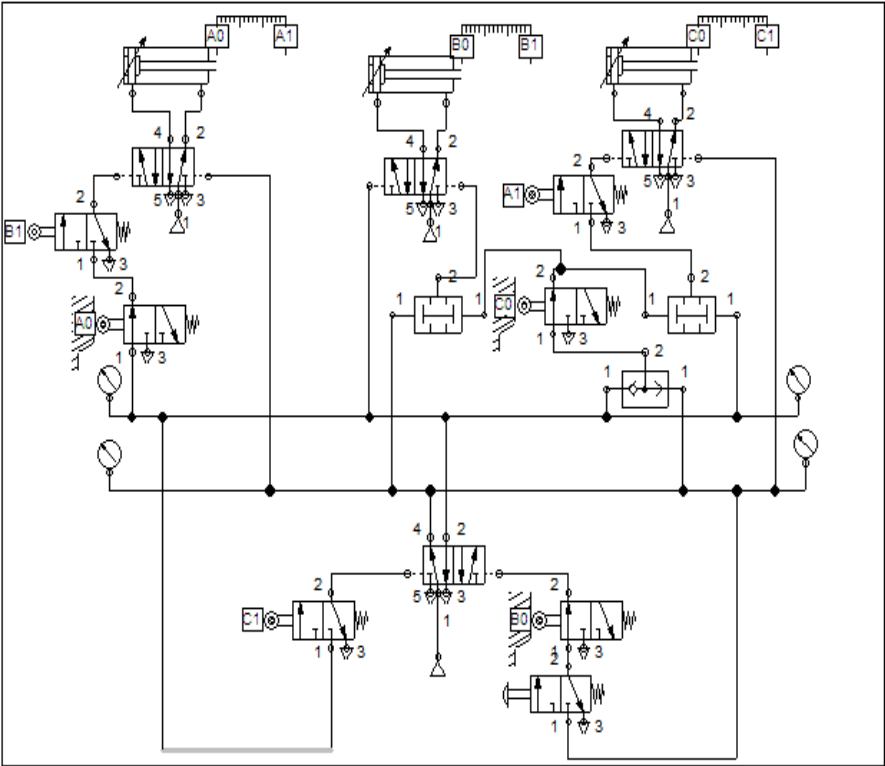
Figura 42. **Diagrama secuencial neumático para la guillotina**



Fuente: elaboración propia.

El siguiente circuito secuencial neumático está diseñado para automatizar el proceso de troquelado en la lámina, este circuito se utiliza para tres procesos similares, troquelado de esquinas, punzonado, y troquelado de segmento medio, estos procesos son similares, puesto que en los tres es necesario prensar la lámina a las mesas de trabajo y después activar la troqueladora para que realice su trabajo; para esto es necesario dos cilindros neumáticos como prensa chapas, que son los que se encargan de prensar la lámina a la mesa de la troqueladora para fijar la lámina al momento en que la troqueladora efectúe su trabajo, además es necesario un tercer cilindro que se encarga de accionar la carrera de trabajo de la prensa troqueladora. Ver figura 43.

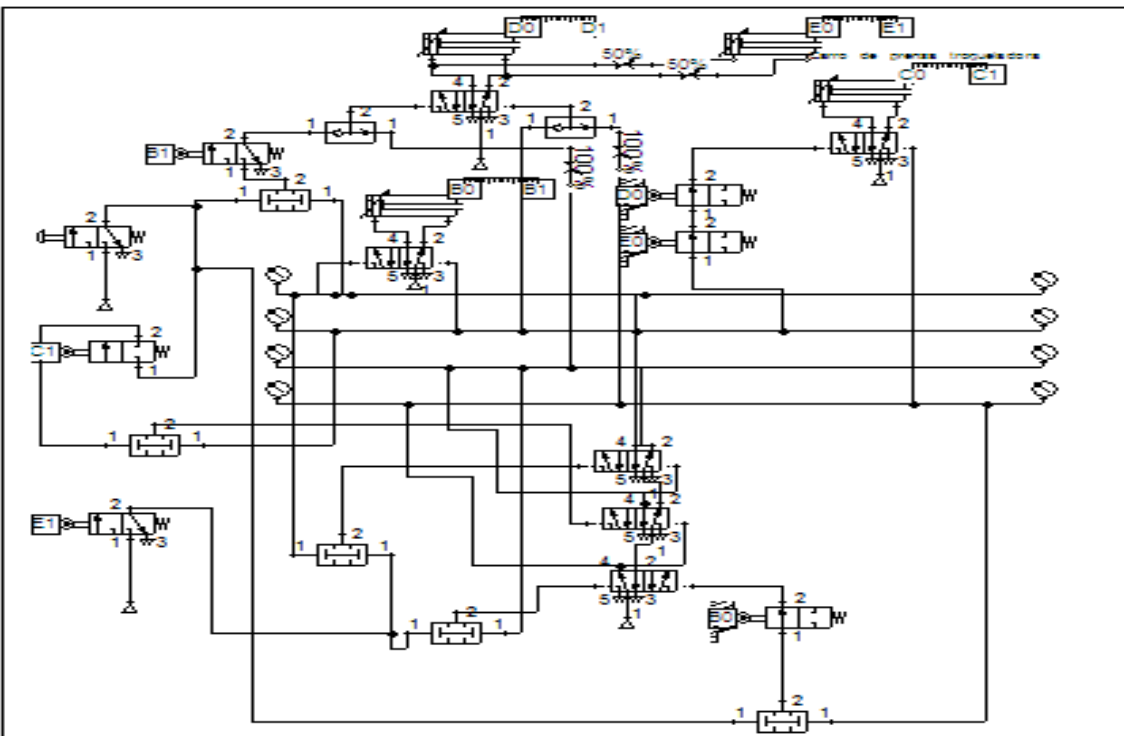
Figura 43. Diagrama secuencial neumático para troqueladoras



Fuente: elaboración propia.

En el proceso de doblado de lámina se presenta el circuito secuencial neumático más complejo de este proyecto, ya que cuenta con tres juegos de dos cilindros que posicionan el material a doblar en diferentes posiciones de la dobladora, además cuenta con un cilindro neumático que acciona la máquina para que realice su carrera de trabajo, tiene incorporado dos finales de carrera que envían una señal de posicionamiento del vástago de cada cilindro para que se efectúe la secuencia que se ha diseñado, además de los diferentes elementos neumáticos para su funcionamiento, como: válvulas distribuidoras, unidad de acondicionamiento, pulsadores, válvulas Y, reguladores de presión y filtros.

Figura 44. Diagrama secuencial neumático para dobladora



Fuente: elaboración propia.

4.2. Selección de elementos neumáticos a utilizar

Las características necesarias para el funcionamiento de la máquina regirán el tipo de elementos neumáticos que se seleccionará, entre los factores que pueden ser: la presión de trabajo, el consumo de aire comprimido, las pérdidas de presión, dimensiones del mismo equipo, etc. Para el cálculo de estos equipos la base es la información del fabricante de la máquina y la información brindada por la empresa, a continuación se determinará qué equipos se necesitan para cada máquina y se procederá, para determinar los requerimientos de este equipo.

En este sistema neumático es necesario calcular el tipo de cilindro que se requiere en cada máquina, el flujo de aire necesario, la presión de trabajo son los datos que se utilizan para la selección de válvulas distribuidoras, unidades de mantenimiento y otros elementos se deberán utilizar.

Se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$F_n = \text{fuerza efectiva o real del émbolo} \quad F_n = A \cdot p - F_R$$

$$A = \text{superficie útil del émbolo} \quad A = \left(\frac{D^2 \pi}{4} \right)$$

P = presión de trabajo

D = diámetro del émbolo

d = diámetro del vástago

$$F_R = \text{Fuerza de rozamiento} \quad F_R = F_{\text{teórica}} (0.1)$$

Relación de compresión = $\frac{101.3 + \text{Presión de Trabajo}}{101.3}$ en Kpa (referida al nivel del mar)

V = consumo de aire (litros/minuto)

n = longitud de carrera

s = ciclos por minuto

$$V = \left[s * \frac{D^2}{4} + s * \frac{(D^2 - d^2)}{4} \right] * n * \text{Relación de compresión}$$

4.2.1. Guillotina

Para el funcionamiento de la guillotina es necesario ejercer una fuerza de para el corte de la lámina; esta fuerza se dividirá en dos partes iguales, ya que se utilizarán dos cilindros neumáticos.

- Dos cilindros neumáticos
- Válvula solenoide 5/2
- Elemento de accionamiento
- Unidad de mantenimiento

En la propuesta de automatización, la guillotina que se utilizará tiene un diseño de fábrica para soportar un espesor de 1,50 mm; para la elaboración de los ductos eléctricos se emplea una lámina de espesor de 0,70 mm y una resistencia a la cizalladura de 40 kgf/mm².

Para obtener un factor de seguridad en la fuerza requerida para el corte en el cálculo de fuerza, se utilizará un espesor de 2,00 mm. Para lograr determinar

la fuerza de corte, son necesarias las dimensiones de la plancha y el ángulo de corte de la cuchilla. Utilizando las siguientes ecuaciones:

$$F_{\text{corte}} = 0,25 a s \zeta$$

0,25 = factor de disminución para fuerza de cizalladura

s = espesor de la chapa

$$a = s / \tan (\alpha)$$

α = ángulo entre cuchillas

$$\zeta = \text{resistencia a la cizalladura} = 40 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

De acuerdo con los datos que se recopilaron de la máquina, se obtiene:

$$s = 2 \text{ mm}$$

$$\alpha = 3^\circ$$

$$\zeta = 40 \text{ kgf} / \text{mm}^2$$

Calculando:

$$a = 2 / \tan (3^\circ) = 38,16$$

$$F_{\text{corte}} = 0,25 (38,16)(2)(40) = 736,2 \text{ kgf}$$

$$736,2 \text{ Kgf} \left(\frac{2,204 \text{ lbf}}{1 \text{ kgf}} \right) = 1682,10 \text{ lbf}$$

De acuerdo con los resultados obtenidos y los requerimientos de la empresa, se realizará cálculos, tomando como fuerza necesaria para el corte, 1900 libras fuerza que será necesario ejercer sobre el carro de la guillotina para realizar el corte.

$$F = 1900 \text{ lbf} (1900 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 8451,2 \text{ Newton}$$

$$\frac{8,451 \text{ Newton}}{2} = 4225,6 \text{ Newton (Se deben utilizar dos cilindros neumáticos)}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 4225,6 (0,1) = 422,56 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 422,56 = 4225,6 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 8,07 * 10^{-3} \quad D = 0,0898 \text{ metros} \quad D = 89,8 \text{ mm} \quad \text{aprox. } \underline{D = 100 \text{ mm}}$$

$$\underline{s = 500 \text{ mm}}$$

Consumo de aire: (n = 3 cortes por minuto)

$$V = \left[0,5 \left(\frac{(0,10)^2 \pi}{4} \right) + 0,5 \left(\frac{(0,10)^2 - (0,025)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(3)$$

$$V = 0,158 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 5,58 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

4.2.2. Troquelado de esquinas

Para este circuito neumático se utilizarán dos cilindros neumáticos iguales que prensarán la lámina a la mesa de la troqueladora y un tercer cilindro neumático diferente a los dos anteriores que accionará la carrera de trabajo de la máquina.

- Una unidad de mantenimiento
- Un cilindro neumático accionador
- Dos cilindros neumáticos para prensar lámina
- Tres válvulas solenoides 5/2
- Un accionador

Cilindro neumático para prensar la lámina:

$$F = 200 \text{ lbs.-fuerza} \quad (200 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 896 \text{ Newton}$$

$$\frac{896 \text{ Newton}}{2} = 448 \text{ Newton (Se deben utilizar dos cilindros neumáticos)}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 448 (0,1) = 44,8 \text{ Newton}$$

$$F_n = Ap - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 44,48 = 444,48 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 1,038 * 10^{-3} \quad D = 0,032 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,035 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,012 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,040 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,5 \left(\frac{(0,035)^2 \pi}{4} \right) + 0,5 \left(\frac{(0,035)^2 - (0,012)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,002 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0708 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

Cilindro neumático para accionador:

$$F = 200 \text{ lbs.-fuerza} \quad (200 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 896 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 896(0,1) = 89,6 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 89,6 = 896 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 2,092 * 10^{-3} \quad D = 0,0457 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,050 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,018 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,025 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,5 \left(\frac{(0,050)^2 \pi}{4} \right) + 0,5 \left(\frac{(0,050)^2 - (0,018)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,00254 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0897 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

4.2.3. Punzonado de lámina

En este circuito neumático se utilizará un cilindro neumático para prensar la lámina a la mesa de la prensa troqueladora y un cilindro neumático que acciona la carrera de trabajo de la máquina.

- Una unidad de mantenimiento
- Un cilindro neumático accionador
- Un cilindro neumático para prensar la lámina
- Dos válvulas solenoides 5/2
- Un accionador

Cilindro neumático para prensar la lámina:

$$F = 100 \text{ lbs.} \cdot \text{fuerza} \quad (100 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb. fuerza}} \right) = 444,8 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 444,8 (0,1) = 44,48 \text{ Newton}$$

$$F_n = Ap - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 44,48 = 444,48 \text{ Newton}$$

Despejando "D"

$$D^2 = 0,001038 \quad D = 0,032 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,035 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,012 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,040 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,04 \left(\frac{(0,035)^2 \pi}{4} \right) + 0,04 \left(\frac{(0,035)^2 - (0,012)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,002 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0708 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

Cilindro neumático accionador:

$$F = 200 \text{ lbs.} \cdot \text{fuerza} \quad (200 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb. fuerza}} \right) = 896 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 896 (0,1) = 89,6 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 89,6 = 896 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 0,002092 \quad D = 0,0457 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,050 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,018 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,025 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,025 \left(\frac{(0,050)^2 \pi}{4} \right) + 0,025 \left(\frac{(0,050)^2 - (0,018)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,00254 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0897 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

4.2.4. Troquelado de segmento medio

En este circuito neumático se utilizarán dos cilindros neumáticos para prensar la lámina a la mesa de la prensa troqueladora y un cilindro neumático que acciona la carrera de trabajo de la máquina.

- Una unidad de mantenimiento
- Un cilindro neumático accionador
- Dos cilindros neumáticos para prensar la lámina
- Tres válvulas solenoides 5/2
- Un accionador

Cilindro neumático para prensar la lámina:

$$F = 250 \text{ lbs.-fuerza} \quad (250 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 1,112 \text{ Newton}$$

$$\frac{1,112 \text{ Newton}}{2} = 556 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 556 (0,1) = 55,6 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 55,6 = 556 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 0,001298 \quad D = 0,036 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,040 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,016 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,040 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,040 \left(\frac{(0,040)^2 \pi}{4} \right) + 0,040 \left(\frac{(0,040)^2 - (0,016)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,00256 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0904 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

Cilindro neumático accionador:

$$F = 225 \text{ lbs.} \cdot \text{fuerza} \quad (225 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb. fuerza}} \right) = 1000,8 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 1000,8(0,1) = 100,08 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 100,08 = 1000,8 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 0,00233 \quad D = 0,0483 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,050 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,018 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,025 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,025 \left(\frac{(0,050)^2 \pi}{4} \right) + 0,025 \left(\frac{(0,050)^2 - (0,018)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,00254 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0897 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

4.2.5. Doblado de lámina

En este circuito neumático se utilizará un cilindro neumático para accionar la máquina y 6 cilindros neumáticos de menores dimensiones trabajando en pares, que se emplearán para posicionar el material en su lugar para el trabajo.

- Una unidad de mantenimiento
- Un cilindro neumático accionador
- Seis cilindros neumáticos para fijación de la lámina
- Cuatro válvulas solenoides 5/2

Cilindros neumáticos para fijar los topes de la lámina:

$$F = 50 \text{ lbs. -fuerza} \quad (50 \text{ lbs.}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 222,4 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 222,4(0,1) = 22,4 \text{ Newton}$$

$$F_n = Ap - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{ Kpa}) - 22,4 = 222,4 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 0,0005191 \quad D = 0,0228 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,025 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,010 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,025 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 3 cortes por minuto)

$$V = \left[0,025 \left(\frac{(0,025)^2 \pi}{4} \right) + 0,025 \left(\frac{(0,025)^2 - (0,010)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(3)$$

$$V = 0,0004688 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0166 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

Cilindro neumático accionador:

$$F = 225 \text{ lbs.-fuerza} \quad (225 \text{ lbs}) \left(\frac{4,448 \text{ Newton}}{1 \text{ lb.fuerza}} \right) = 1000,8 \text{ Newton}$$

$$F_R = F_{\text{teórica}}(0,1) = 1000,8(0,1) = 100,8 \text{ Newton}$$

$$F_n = A_p - F_R = \frac{D^2 \pi}{4} (6 * 10^5 \text{Kpa}) - 100,8 = 1000,8 \text{ Newton}$$

Despejando "D":

$$D^2 = 0,002336 \quad D = 0,0483 \text{ metros} \quad \text{aprox. } \underline{D = 0,050 \text{ m}} \quad \underline{d = 0,018 \text{ m}}$$

$$\underline{s = 0,025 \text{ m}}$$

Consumo de aire: (n = 4 cortes por minuto)

$$V = \left[0,025 \left(\frac{(0,05)^2 \pi}{4} \right) + 0,025 \left(\frac{(0,05)^2 - (0,018)^2 \pi}{4} \right) \right] (6,92)(4)$$

$$V = 0,00254 \text{ m}^3/\text{minuto} \quad \underline{V = 0,0897 \text{ pies}^3/\text{minuto}}$$

4.3. Selección del tipo de autómeta a utilizar

El autómeta es un sistema de control lógico programable, en un grado de exigir un conjunto ordenado de operaciones definidas por las instrucciones; entre los factores a considerar para la selección idónea de elementos del autómeta se pueden establecer los siguientes:

- Unidad central de proceso o de control (CPU): es la encargada de ejecutar el programa de usuario y ordenar las transferencias de información en el sistema de entradas/salidas.
- La memoria: es parte del CPU, que contiene un pequeño número de unidades de memoria internas, denominadas registros.
- Usuario: es la memoria del programa de control.
- Datos: es la memoria de instrucciones lógicas.
- Fuente de alimentación: proporciona las tensiones necesarias para el funcionamiento de los distintos circuitos del sistema. La alimentación del autómatas puede ser corriente continua a 24V DC, tensión muy frecuente en cuadros de distribución o en corriente alterna a 120/240 V AC.
- Interfaces de entrada y salida: según la naturaleza de las señales que intervienen en el proceso, los sistemas de control pueden dividirse en los siguientes grupos:
 - Sistemas analógicos.
 - Sistemas digitales.
 - Una PC o un ordenador, el cual contiene el Software del PLC seleccionado y donde el programador diseña el sistema de control.

4.4. Diseño de la red de distribución de aire comprimido

Todo lo referente a las características propias de la planta será descrito en los siguientes apartados, ya que la red de aire comprimido se debe adaptar a las características físicas y económicas con que se cuenten y así satisfacer las necesidades que se tengan.

4.4.1. Presión máxima del sistema

Todos los circuitos de aire comprimido están diseñados para trabajar en un rango de presión estable. En la red principal se utilizará una presión de trabajo de 87 psi (6 bar), la cual se empleará para cuestiones de cálculo. La red de aire comprimido utilizará regularmente, una presión máxima de 110 psi (7,6 bar) por cuestiones de requerimientos mayores en el futuro.

4.4.2. Flujo máximo del sistema

El total de pies cúbicos por minuto de aire comprimido que necesitan las máquinas de la planta de producción fue obtenido del cálculo de cada elemento y las herramientas que se utilizan en la empresa; a continuación se presenta una lista de todas las máquinas y tomas de aire que se encuentran en la planta de producción cada una con el volumen de aire que necesitan para un trabajo continuo, por lo regular, no todas las máquinas o tomas de aire son usadas al mismo tiempo, por cuestiones de cálculo se hará así, ya que en un momento dado puede suceder que todas las tomas de aire estén siendo usadas.

Tabla VII. **Total de pies³/minuto requerido de cada máquina**

No.	Máquina	Caudal (pies cúbicos/minuto)
1	Guillotina corte de lamina	7,25
2	Troqueladora (5 Ton) troquelado de esquinas	0,3
3	Troqueladora (5 Ton) punzonado de lámina	0,21
4	Troqueladora (10 Ton) segmento medio	0,35
5	Dobladora de lámina doblado de lámina	0,25
6	Troqueladora (25 Ton) prensado de lámina	0,25
7	Pistola para pintar 1	4
8	Pistola para pintar 2	4
9	Pistola para pintar 3	4
10	Toma de aire	4
11	Toma de aire	4
	Total	28,36

Fuente: elaboración propia.

El flujo máximo de aire comprimido que necesita toda la maquinaria de la planta es de 28,36 pies³/minuto.

4.4.3. Longitudes equivalentes para accesorios

La red de aire comprimido debe estar construida con tubería de hierro galvanizado, y además contar con accesorios y válvulas para la distribución de este fluido a las diferentes máquinas. A lo largo de la red de aire comprimido, se produce pérdida por fricción, por cambios bruscos de diámetro, por valvulería y por distancias; la tabla VII muestra diferentes tipos de accesorios y válvulas, según el diámetro de éstos y su pérdida equivalente en metros de longitud.

Tabla VIII. Longitud de tubería equivalente para accesorios y válvulas

Válvulas, etc.	Longitud de tubería equivalente en m						
	Diámetro interior de la tubería						
	1"	½"	2"	3"	4"	5"	6"
Válvula de asiento	3-6	5-10	7-15	10-25	5-30	20-50	25-60
Válvula de diafragma	1,2	2,0	3,0	4,5	6	8	10
Válvula de compuerta	0,3	0,5	0,7	1,0	,5	2,0	2,5
Codo	1,5	2,5	3,5	5	7	10	15
Curva R = d	0,3	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	2,5
Curva R = 2d	0,15	0,25	3	5	,8	1,0	1,5
Conexión de manguera. Pieza en T	2	3	4	7	10	15	20
Reducción (2d-d)	0,5	0,7	1,0	2,0	2,5	3,5	4,0

Fuente: elaboración propia.

4.4.4. Volumen de almacenaje

La empresa cuenta con un compresor de 10 hp que produce 40 pies cúbicos por minuto de aire; estos datos de producción del compresor están calculados respecto a la altura a la que se encuentran respecto al nivel del mar, ya que dependiendo de ésta, la densidad del aire aumentará o disminuirá, por lo que se requiere de mayor cantidad de aire libre para producir aire comprimido.

Los fabricantes de compresores garantizan la capacidad no en términos de aire comprimido, sino de aire libre, es decir, el aire libre en condiciones atmosféricas normales.

Tabla IX. **Presión barométrica**

Altura (pies)	Psi.	"Hg
1 000	14,7	29,92
2 000	14,16	28,86
3 000	13,66	27,82
4 000	13,16	26,81
5 000	12,22	24,89
6 000	11,77	23,98
7 000	11,33	23,09
8 000	10,91	22,22
9 000	10,5	21,38
10 000	10,1	20,58
11 000	9,71	19,75
12 000	9,34	19,03
13 000	8,97	18,29
14 000	8,62	17,57

Fuente: elaboración propia.

Por lo que si se tiene un compresor que produce 40 pies³/minuto de aire comprimido a una presión de trabajo de 87 psi y una altura de 1500 metros (5000 pies) sobre el nivel del mar, que es la altura promedio de la ciudad capital de Guatemala, según la tabla VIII, a esta altura la presión barométrica, sería de 12.22 psi, se tiene a continuación el siguiente cálculo de aire libre que se necesita para producir 40 pies³/minuto de aire comprimido:

$$x \left(\frac{12,22}{87 + 12,22} \right) = 40$$

$$x = 324,78 \text{ pies}^3/\text{minuto de aire libre}$$

Por lo que en la sala de compresores, se necesita que existan por lo menos, 324,78 pies³/minuto de aire libre para poder obtener los 40 pies³/minuto que produce el compresor.

4.4.5. Longitud total de la localización de la maquinaria en la planta de producción

La longitud total de tubería que se debe utilizar para la red de aire comprimido de la planta de producción, se obtuvo del plano de localización de la maquinaria y tomas de aire por lo que, se tienen los siguientes datos:

Tabla X. Longitud de tubería

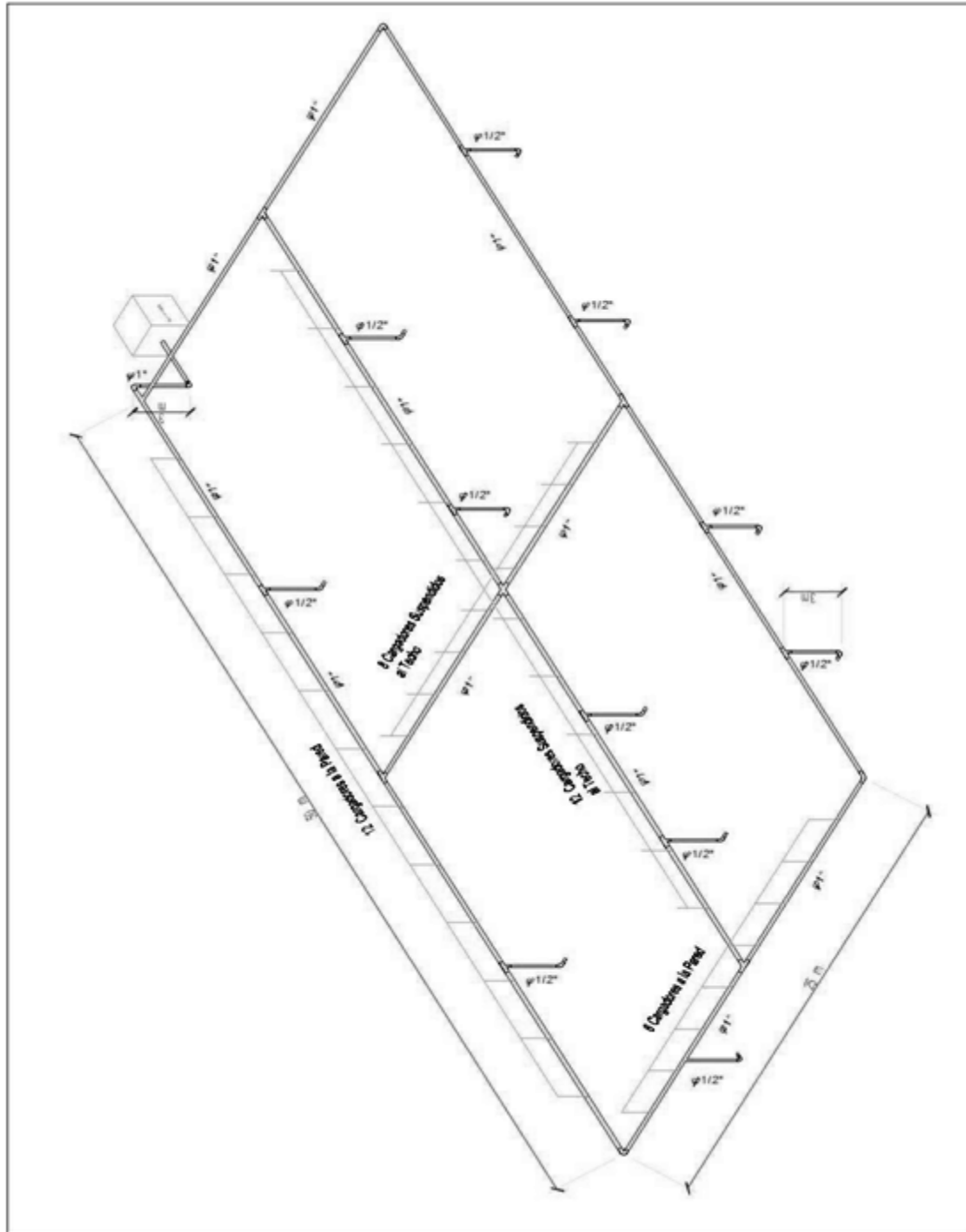
DIAMETRO (plg)	LONGITUD DE TUBERIA (metros)
1"	203
½"	33
Longitud total	236

Fuente: elaboración propia.

4.4.6. Cálculo de tubería

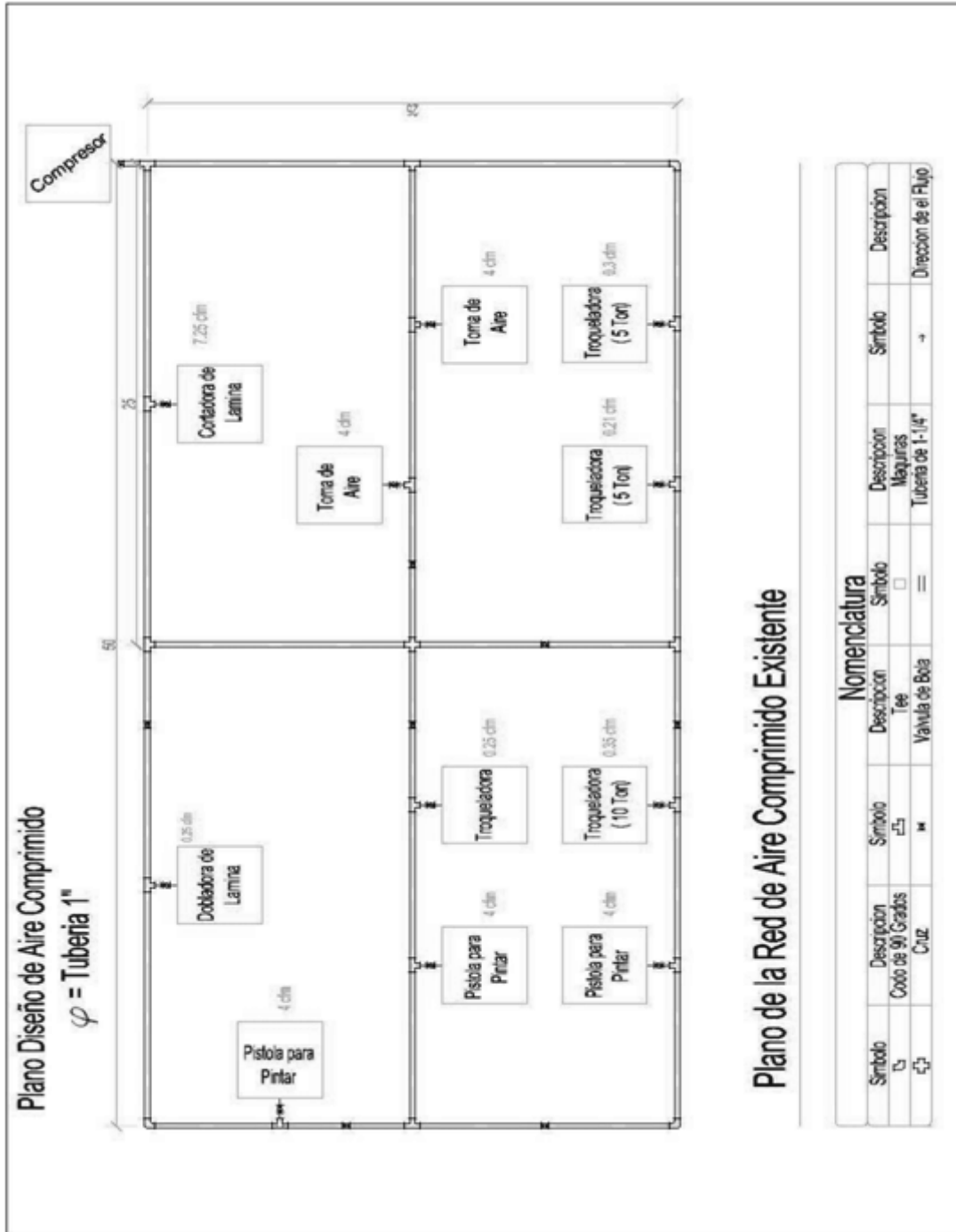
Para el cálculo de los diferentes diámetros de tubería que se utilizaran en la red de aire comprimido, se debe saber qué caudal de aire se necesita transportar, en cada uno de los diferentes circuitos que componen dicha red, por lo que se tienen los siguientes diagramas que se muestran en las figuras 45 y 46.

Figura 45. Red de aire comprimido propuesta



Fuente: elaboración propia.

Figura 46. Plano diseño de aire comprimido



Fuente: elaboración propia.

El volumen de aire comprimido total que necesitan las máquinas y los tomas de aire en un momento determinado es de 28,36 pies³/minuto, se calculará la tubería principal según la tabla IX. Se necesitan 28,36 pies³/minuto a una presión de 110 psi con una caída de presión de 5% por cada 100 pies de tubería, se observa que el diámetro de tubería a usar sería de ¾", pero se seleccionará la de un diámetro de 1", siendo más grande los diámetros de los circuitos para futuras ampliaciones, pérdidas por accesorios y distancias. Para los ramales que se conducen a las máquinas, se usará tubería galvanizada de un diámetro de ½" reducidas a ¼" antes de la unidad de mantenimiento.

Tabla XI. **Diámetros de tuberías**

P Pslg	Diámetro de tubería											
	Caída de presión 10%				Caída de presión 5%							
	1/8"	¼"	3/8"	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"
5	0,5	1,2	2,7	4,9	6,6	13	27	40	80	135	240	310
10	0,8	1,7	3,9	7,7	11	21	44	64	125	200	370	500
20	1,3	3	6,6	13	18,5	35	75	110	215	350	600	800
40	2,5	5,5	12	23	34	62	135	200	385	640	1 100	1 500
60	3,5	8	18	34	50	93	195	290	560	900	1 600	2 050
80	4,7	10,5	23	44	65	120	255	380	720	1 200	2 100	2 800
100	5,8	13	29	54	80	150	315	470	900	1 450	2 600	3 500
110	6,3	14,4	31,5	59,2	87	164	344	512	990	1 600	2 860	3 800
150	8,6	20	41	80	115	220	460	680	1 350	2 200	3 900	5 200
200	1,5	26	58	108	155	290	620	910	1 750	2 800	5 000	6 666
250	11,5	33	33	135	200	370	770	1 150	2 200	3 500	6 100	8 100

Fuente: elaboración propia.

4.4.7. Cálculo de valvulería y accesorios

Los datos que a continuación se presentan los obtuvimos del plano de la red de aire comprimido de la planta de producción, según la colocación física de la maquinaria.

Para tubería de diámetro 1”:

- Cinco tees
- Nueve válvulas de bola
- Cinco codos a 90°
- Una cruz
- Once tees con reductor

Para tubería de diámetro 1/2”:

- Treinta y tres codos a 90°
- Once válvulas de bola
- Once reductores de ½ a ¼
- Once acoples de ¼
- Once unidades de mantenimiento

4.4.8. Cálculo de soportes para tubería, según distancia

Para tubería de aire comprimido debe soportarse a intervalos adecuados, para evitar flexiones que acumularían condensados, que provocaría esto la reducción de drenado en los puntos más bajos. La distancia que debe tener cada soporte va a depender en algunos casos, de las condiciones físicas del edificio; en el presente caso, las distancias entre columnas de las instalaciones

son de 3 metros, por lo que los soportes se ubicaran a estas distancias. A continuación, se presenta la tabla X, en la cual se dan las distancias máximas entre soportes horizontales, para diferentes diámetros de tubería, basada para condiciones ideales de montaje, de acuerdo a esta tabla, la distancia recomendada para la colocación de soportes es por lo menos cada 2,125 metros; sin embargo, no es posible cumplir con esto por las condiciones físicas de la panta.

Tabla XII. **Longitudes de soportes de tubería**

DIAMETRO DE TUBERIA	VERTICAL (metros)	HORIZONTAL (metros)
¼"	1,25	1
½"	1,75	1,25
¾"	2,7	1,75
1 ¼"	3	2,5
1 ½"	3	2,5
2"	3,5	2,75
3"	3,5	3
4"	3,5	3
6"	4,25	3,5
10"	5,18	4,25
12"	5,48	4,87

Fuente: elaboración propia.

4.5. Análisis del proceso para la maquinaria

Uno de los principales objetivos de la automatización del proceso de producción de ductos eléctricos, es mejorar los tiempos de fabricación del producto, y facilitar la utilización de la maquinaria.

4.5.1. Corte de lámina

Con el proceso automatizado de corte de lámina se pretende aumentar la cantidad de 2 cortes por minuto a 3 cortes por minuto; pero además aumentar la eficiencia de la máquina para que sea necesario de 2 operarios para realizar este proceso.

4.5.2. Troquelado de esquinas

En este puesto de trabajo, con el circuito neumático asistido por el autómatas, se pretende aumentar a 4 carreras de trabajo por minuto de la máquina y reducir el tiempo de colocación de topes de la lámina.

4.5.3. Punzonado de lámina

Al igual que en el troquelado de esquinas, en este proceso se aumentarán a 4 carreras de trabajo por minuto, además la utilización de circuitos neumáticos como prensa láminas, reducirá los movimientos de la lámina en la mesa de la prensa troqueladora, lo que reducirá los errores por movimiento involuntario de la lámina y facilitará su trabajo.

4.5.4. Troquelado de segmento medio

En este proceso, las piezas troqueladas serán de 4 piezas por minuto a diferencia del sistema anterior que se troquelaban 2 piezas por minuto, además, también se disminuirán los movimientos de la lámina durante su troquelado, también se disminuirán los riesgos del operario en la máquina, porque no será necesario acercarse demasiado al área de corte de la máquina.

4.5.5. Doblado de lámina

Para esta máquina, el aumento de piezas dobladas será de 3 dobleces por minuto a diferencia del proceso anterior de 2 dobleces por minuto, en este proceso, la principal diferencia es la colocación de los topes, ya que no será necesario cambiarlos constantemente, cada vez que se realice un dobles diferente, como anteriormente se hacía, primero se trabajaba todo el lote de piezas a la primera medida que se tenía y una vez terminadas todas las piezas, se cambiaban los topes y otra vez era doblado todo el lote de piezas del pedido; con el sistema propuesto, los topes cambiarán automáticamente, es decir después de realizar el primer dobles, los topes cambiarán al siguiente dobles y así sucesivamente; en el nuevo proceso las piezas después de salir de la dobladora tendrán todos los dobleces ya realizados, es decir, no será necesario realizar todos los dobleces para obtener una piza completa y así pasar al siguiente proceso.

CONCLUSIONES

1. En el análisis del proceso de producción de ductos eléctricos se determinaron que los procesos consistían en pasos constantes en cada una de las troqueladoras, y estas operaciones son realizadas por los operarios, además de los sistemas de accionamiento mecánicos, que mediante sistemas neumáticos pueden automatizarse, mejorando las operaciones realizadas en cada puesto de trabajo.
2. Para la selección de una autómatas se debe considerar que en el mercado se pueden encontrar autómatas con características muy similares, las cuales cumplen con los requerimientos que se han establecido; sin embargo, es necesario considerar variables como: el costo, la comercialización en la zona de trabajo, la utilización, es decir, el tipo de capacitación para los operarios, tipo de lenguaje, además estar previsto de otras tareas, que también pueden ser útiles para la empresa.
3. En la producción de ductos eléctricos con las condiciones y parámetros establecidos en este proyecto se demuestra teóricamente, que la automatización de la maquinaria, resultaría con la mejora de tiempos de producción, provee herramientas como el conteo de piezas fabricadas, evitándolo hacer manualmente, la fijación de topes para las piezas previene evitar piezas defectuosas que no cumplan con las medidas establecidas previamente para cada pieza.

4. Para la realización de un sistema secuencial neumático se puede utilizar técnicas de diseño, como el sistema de cascada, que se utilizó para el diseño y con base en este, la correcta selección de elementos neumáticos, además de los cálculos que se realizaron para el dimensionamiento de los equipos, verificación de datos en tablas para establecer la tubería que se debe utilizar; para la selección del autómata se debe basar en los requerimientos establecidos para este proyecto y los datos proporcionados por el fabricante, dependiendo del tipo de autómata se utilizará.

5. Para el diseño de la red de distribución de aire comprimido, que cumpla con los requerimientos establecidos, se consideró la estructura física de la planta, la ubicación de cada una de las máquinas, además se realizaron los cálculos para el consumo de aire y así determinar el diámetro de tubería a utilizar, además es necesario considerar las caídas de presión en toda la longitud de la tubería; todos estos factores considerados para tener una presión y flujo constantes, también se tomó en cuenta un factor de crecimiento de la empresa en el futuro.

RECOMENDACIONES

1. Para cumplir con los objetivos de esta propuesta también será necesario la capacitación y familiarización de los operarios con la tecnología que se pretende implementar, para que el uso de ésta sea óptimo.
2. Para reducir la humedad en la red de aire comprimido, es necesario la instalación de una secadora, la cual debe dimensionarse en base a las características de nuestra red de distribución de aire comprimido.
3. Utilizar, el lenguaje de programación KOP, de preferencia, ya que es un lenguaje mas sencillo y fácil de capacitar a alguien que anteriormente no había tenido relación con la programación de autómatas.
4. Utilizar las funciones del autómeta para incorporar sistemas de seguridad para el operario, como barreras de paso, las cuales consisten en barreras que bloquean las áreas donde el material es cortado al momento de no haber material y las abren al momento de introducir el material.
5. Es necesario establecer un manual de funcionamiento de cada máquina, para que el operario tenga una herramienta que le permita conocer todas las funciones que le brinda el autómeta programable y a prevención de fallas al estar efectuando un trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Manual de mandos secuenciales neumáticos*. Guatemala: Centro de Reproducción Digital por Demanda de INTECAP-CRDDVI, 2005. 173 p.
2. *Manual de neumática: curso de neumática para la formación profesional*. Bogotá: Festo Didactic, 1992. 327 p.
3. *Manual de programación de PLC*. Guatemala: Centro de Reproducción Digital por Demanda de INTECAP-CRDDVI, 2005. 255 p.
4. *Manual del profesional del aire comprimido: aire comprimido*. México: Igersoll-Rand, 1992. 236 p.
5. *Manual del sistema: sistema de automatización*. Nurenberg: SIEMENS SIMATIC, 2003. 107 p.
6. *ZIESLING, Honrad. circuitos neumáticos*. Barcelona: Blume, 1995. 208 p.