

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

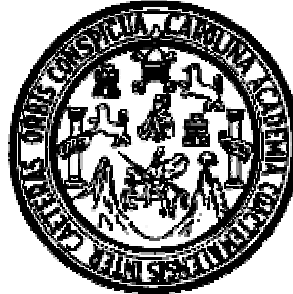
**MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA
PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA ACEROS DE
GUATEMALA**

VÍCTOR MANUEL MÉNDEZ MARTÍNEZ

Asesorado por el Ing. Álvaro Antonio Ávila Pinzón

Guatemala, noviembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA
PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA ACEROS DE
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VÍCTOR MANUEL MÉNDEZ MARTÍNEZ

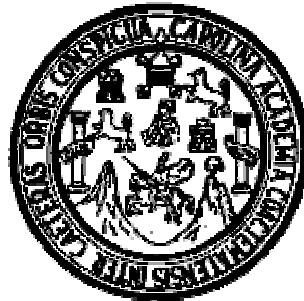
ASESORADO POR EL ING. ÁLVARO ANTONIO ÁVILA PINZÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Anacleto Medina Gómez
EXAMINADOR	Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA ACEROS DE GUATEMALA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 12 de noviembre de 2004.



Víctor Manuel Méndez Martínez

Guatemala, 4 de octubre de 2005

Ingeniero
José Arturo Estrada Martínez
Director de Escuela de Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala


Ingeniero Estrada:

Respetuosamente me dirijo a usted con el propósito de informarle que he procedido a la revisión del trabajo de graduación titulado **“Mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de Clavo y Alambre de la empresa Aceros de Guatemala”** presentado por el estudiante universitario **Víctor Manuel Méndez Martínez**, y después de haber realizado las correcciones pertinentes, considero que cumple con los objetivos que le dieron origen.

Por lo tanto, hago de su conocimiento que en mi opinión el mencionado trabajo reúne los requisitos necesarios para la aprobación final.

Sin otro particular, me suscribo de usted.

Atentamente



Ing. Alvaro Antonio Ávila Pinzón
Colegiado No. 2,262
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Materiales y 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, **Mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de clavo y alambre de la empresa Aceros de Guatemala**, del estudiante **Victor Manuel Méndez Martínez**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

CARLOS H. PEREZ
ING. MECANICO INDUSTRIAL

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, octubre de 2005

/bedei.


UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

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 el visto bueno del Coordinador del área Complementaria, al trabajo de graduación: **MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA ACEROS DE GUATEMALA**, del estudiante **Víctor Manuel Méndez Martínez**, procede a la autorización del mismo.

" Id y Enseñad a Todos "


Ing. José Arturo Estrada Martínez
DIRECTOR



Guatemala, noviembre de 2005.

/bedi

Universidad de San Carlos
de Guatemala



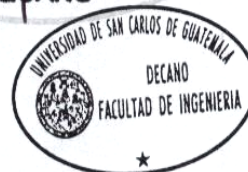
Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG. 525-2005.

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: **MEJORAMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA ACEROS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario Víctor Manuel Méndez Martínez procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre 7 de 2,005

/gdech

ACTO QUE DEDICO

- A JESÚS** Por ser el director, motivador y renovador de mi vida.
- A MIS PADRES** Santos Cosme Méndez Agustín
Paula Isabel Martínez de Méndez
Por su apoyo, cariño y sacrificio.
- A MIS HERMANAS** María Isabel Méndez Martínez
Dora Esperanza Méndez Martínez
Sara Noemí Méndez Martínez
Elva Leticia Méndez Martínez
Que este triunfo sea para alcanzar sus metas propuestas.
- A MI SOBRINO** Edvin Otoniel.
- A MI PRIMO** Ing. Carlos Alberto Elías Martínez
Porque con su ejemplo me ha motivado a culminar este trabajo de graduación.
- A MIS FAMILIARES
Y AMIGOS** Con mucho cariño y respeto.

AGRADECIMIENTOS

A MI PATRIA GUATEMALA

A LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

A LA FACULTAD DE INGENIERÍA

A MI ASESOR Ingeniero Álvaro Antonio Ávila Pinzón.

AI INGENIERO Por darme la oportunidad y apoyo para
PUBLIO FAJARDO realizar este trabajo de graduación en la
planta de Clavo y Alambre.

AL INGENIERO Por el apoyo y amistad brindado.
CARLOS FIGUEROA

A LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE DE LA EMPRESA
ACEROS DE GUATEMALA Y AL PERSONAL DEL TALLER DE
MANTENIMIENTO MECÁNICO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	
1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Descripción de la planta de clavo y alambre	2
1.2.1 Sección de trefilación	2
1.2.2 Sección de galvanizado	4
1.2.3 Sección de amarre	5
1.2.4 Sección de clavo	5
1.2.5 Sección de espigado	6
1.2.6 Sección de enderezado y corte de alambón	7
2. APLICACIÓN DE LA NEUMÁTICA	
2.1 Principios físicos	10
2.1.1 El aire	10
2.1.2 Presión atmosférica	11
2.1.3 Ley de los gases	12
2.1.4 Ley de Boyle	12
2.1.5 Ley de Charles	13
2.1.6 Ley combinada de los gases	13
2.1.7 Unidades de presión	14

2.2	Introducción a los compresores	14
2.2.1	Transmisión de potencia	15
2.2.2	Alimentación de un proceso de combustión	15
2.2.3	Transporte y distribución de gases	15
2.2.4	Accionamiento de controles neumáticos	16
2.3	Métodos de compresión	16
2.3.1	Compresores por flujo intermitente	16
2.3.2	Compresores por flujo continuo	17
2.4	Tipos de compresores	17
2.4.1	Compresores de desplazamiento positivo por flujo intermitente	19
2.4.1.1	Compresores reciprocantes	19
2.4.1.2	Compresores rotativos	25
2.4.1.3	Compresores de paletas deslizantes	25
2.4.1.4	Compresores de pistón líquido	27
2.4.1.5	Compresores de lóbulo recto	29
2.4.2	Compresores dinámicos por flujo continuo	33
2.4.2.1	Compresores centrífugos	33
2.4.2.2	Compresores axiales	35
2.4.2.3	Compresores de flujo mixto	36
2.5	Acondicionamiento del aire comprimido	37
2.5.1	Unidad de filtro, regulador, lubricador	37
2.5.1.1	Filtro de aire	40
2.5.1.2	Regulador de presión	45
2.5.1.3	Lubricador	48
2.5.1.4	Aceite recomendado para el lubricador del aire	49

3.	USO Y APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE	
3.1	Uso y aplicación del aire comprimido en las trefiladoras	55
3.2	Uso y aplicación del aire comprimido en las troqueladoras	58
3.3	Uso y aplicación del aire comprimido en la rectificadora de dados	61
3.4	Uso y aplicación del aire comprimido en labores generales de mantenimiento	64
4.	EVALUACIÓN DEL ACTUAL DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	
4.1	Deficiencias de la actual red de aire comprimido	67
4.2	Causas y efectos en las deficiencias de la actual red de aire	74
4.3	Consumo de energía eléctrica con la actual red de aire	77
4.4	Resultado de la evaluación de la actual red de aire	78
4.5	Propuesta a la evaluación de la actual red de aire	79
5.	REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO	
5.1	Cálculo de la demanda de flujo de aire existente en la planta	83
5.2	Cálculo de la tubería para la red de distribución	93
5.3	Cálculo del diámetro de la tubería	95
5.4	Cálculo del tipo de soportes y sus distancias	97

5.5	Cálculo de la pendiente del circuito de aire	98
5.6	Cálculo del depósito de almacenamiento de aire	99
5.7	Cálculo de la capacidad de los compresores existentes	102
5.8	Cálculo de los accesorios y materiales de la instalación	105
5.9	Cálculo de las purgas a necesitar	107
5.10	Centralizado de compresores	109
5.11	Pasos y procedimientos a seguir en la instalación de tuberías, accesorios y compresores	112
6.	EVALUACIÓN DE COSTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO	
6.1	Cálculo de costos de materiales de la instalación	115
6.2	Cálculo de costos del equipo y accesorios	116
6.3	Cálculo de costos de la mano de obra	117
6.4	Presupuesto total del proyecto	118
6.5	Cálculo del ahorro de energía eléctrica	119
7.	MANTENIMIENTO GENERAL DEL EQUIPO	
7.1	Mantenimiento general de los compresores	123
	7.1.1 Mantenimiento diario	124
	7.1.2 Mantenimiento semanal	124
	7.1.3 Mantenimiento mensual	125
7.2	Mantenimiento de las tuberías de la red de aire	127
7.3	Mantenimiento de válvulas y accesorios	128
7.4	Localización de fugas y fallas en el sistema de aire	129

8.	SEGURIDAD INDUSTRIAL EN APLICACIONES DE AIRE COMPRIMIDO	
8.1	Propósito	134
8.2	Alcance	134
8.3	Responsabilidad	134
8.4	Acto inseguro y condición insegura en instalaciones de aire	135
8.5	Inspección de todos los componentes y equipos antes y después del arranque	140
	CONCLUSIONES	141
	RECOMENDACIONES	143
	BIBLIOGRAFÍA	145
	ANEXOS	147

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Tres tipos de compresores recíprocos de aire	20
2.	Partes de un compresor recíproco de aire	21
3.	Vista esquemática de un compresor recíproco de aire de dos etapas	22
4.	Compresor de aire del tipo de paletas rotatorias (vista esquemática)	26
5.	Compresor de pistón líquido	27
6.	Diagrama A del compresor de lóbulo recto	30
7.	Diagrama B del compresor de lóbulo recto	31
8.	Diagrama C del compresor de lóbulo recto	31
9.	Diagrama D del compresor de lóbulo recto	32
10.	Compresor centrífugo	34
11.	Compresor axial	35
12.	Compresor de flujo mixto	36
13.	Uso de la trampa de agua	40
14.	Filtro de aire	41
15.	Filtro fino	43
16.	Diagrama esquemático del regulador de presión	45
17.	Regulador de presión	46
18.	Lubricador	48
19.	Esquema de un lubricador de aceite	50
20.	Unidad de servicio	52

21.	Partes de máquina trefiladora	56
22.	Máquina troqueladora	58
23.	Sujetador de distancia de la lámina o fleje	59
24.	Máquina rectificadora de dados	62
25.	Las fugas cuestan dinero	73
26.	Diagrama de causa y efecto	75
27.	Cilindros de trefiladora diez	88
28.	Depósito de aire	101
29.	Compresores reciprocantes de la planta de clavo y alambre	104
30.	Purga automática	109
31.	Sistema centralizado de aire comprimido	111
32.	Costo de producción de aire comprimido	115
33.	Indicación de acceso restringido a sala de compresores	139
34.	Planta de instalación aire comprimido diseño de funcionamiento actual	148
35.	Planta de instalación aire comprimido propuesta de diseño	149

TABLAS

I.	Contenido máximo de agua en el aire	44
II.	Especificaciones de los compresores	68
III.	Cálculo del aire libre desperdiciado	69
IV.	Horas de operación por compresor	70
V.	Aire libre desperdiciado	72
VI.	Capacidad en HP y kW. de los compresores	77
VII.	Demanda en CFM de los cilindros neumáticos	87
VIII.	Especificación de cilindros de trefiladora diez	88
IX.	Total de CFM de los cilindros de trefiladora diez	90

X.	Consumo específico de los equipos de la planta	91
XI.	Consumo total de los equipos de la planta	92
XII.	Descripciones de la tubería	95
XIII.	Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería	96
XIV.	Volumen de depósitos de aire comprimido	100
XV.	Especificación de los compresores reciprocantes	103
XVI.	Caudal en CFM de los compresores a instalar	105
XVII.	Características del tubo galvanizado	106
XVIII.	Materiales y accesorios	107
XIX.	Costos de los materiales	116
XX.	Costos del equipo y accesorios	117
XXI.	Costo de mano de obra	118
XXII.	Costo total del proyecto	118
XXIII.	Capacidad en HP y kW de los compresores	119
XXIV.	Compresores a instalar	120
XXV.	Ahorro en consumo de energía eléctrica	120
XXVI.	Ahorro en quetzales en consumo de energía eléctrica	121
XXVII.	Mantenimiento diario para los compresores	124
XXVIII.	Mantenimiento semanal	125
XXIX.	Mantenimiento mensual	125
XXX.	Mantenimiento semestral	126
XXXI.	Mantenimiento anual	126
XXXII.	Mantenimiento cada cinco años	126
XXXIII.	Mantenimiento de las tuberías de la red de aire	127
XXXIV.	Mantenimiento de la unidad de filtro, regulador, lubricador	128
XXXV.	Mantenimiento de válvulas de conexión de aire	128
XXXVI.	Localización de fallas en compresores reciprocantes	132

GLOSARIO

Aire	Gas incoloro e inodoro que está formado de varios gases, entre los que predomina el nitrógeno y el oxígeno.
Aire comprimido	Aire a presión; es una energía que se obtiene a través de los compresores, se transporta por medio de tubería para hacer funcionar un equipo neumático.
Caudal	Es la cantidad de aire en volumen por segundo que pasa por una tubería, se trabaja en m ³ /seg, pie ³ /seg.
CFM	Consumo de aire, pies cúbicos por minuto.
Compresor	Máquina o equipo utilizado para reducir el volumen del aire, con el objetivo de elevar su presión y con ello poder transportar energía y hacer un trabajo.
Condensado	Es el agua que se deposita en las tuberías, debido al enfriamiento del vapor de agua, contenido en el aire comprimido.
Demanda	Flujo de aire que se requiere por la maquinaria y equipo neumático para poder cumplir con la producción.

Equipo neumático	Máquina o herramienta que utiliza aire comprimido para realizar un trabajo.
Mantenimiento preventivo	Está basado en la programación de rutinas de mantenimiento a intervalos de tiempos definidos, y que se realiza con el propósito de anticiparse a las fallas.
Neumática	Parte de la física que estudia las propiedades del aire comprimido y sus aplicaciones.
Pie cúbico por minuto (CFM)	<i>Cubic Feet per Minute</i> , flujo de aire libre medido en un punto de referencia establecido previamente.
Presión	Es la fuerza aplicada a una unidad de área, y sus dimensionales en que se trabaja son: bar, Psi.
Red de distribución de aire comprimido	Es el sistema de tuberías que llevan el flujo de aire comprimido hasta los puntos de consumo.
Tanque de almacenamiento	Tanque utilizado en un sistema de aire comprimido, para almacenar el aire descargado por un compresor.

RESUMEN

El presente trabajo de graduación contiene el mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de clavo y alambre de la empresa Aceros de Guatemala, particularmente, el trabajo abarca las áreas donde se produce el alambre trefilado, espigado y clavo para madera.

El mejoramiento de la red de aire comprimido comprende llevar a cabo un nuevo diseño de la red de aire comprimido y un centralizado de los compresores, ya que la red actual de tuberías tiene varios años de estar funcionando y tiene varias deficiencias, como fugas que dan por consiguiente caídas de presión en la maquinaria y equipo. Por lo tanto se tiene contemplado llevar a cabo un centralizado de compresores, ya que actualmente funcionan de forma individual y debido a la demanda de aire en la maquinaria y equipos, se hace indispensable que los compresores trabajen en un sólo lugar en la planta y poder cumplir con la demanda de aire.

El primer capítulo de este trabajo de graduación se refiere a las generalidades de la empresa, que nos involucra la descripción de la planta de clavo y alambre y sus secciones por las cuales está conformada. El segundo capítulo hace mención de la aplicación de la neumática en donde se mencionan el tipo de compresores y acondicionamiento del aire. En el tercer capítulo se describe el uso y aplicación del aire comprimido en la planta de clavo y alambre. En el cuarto capítulo se llevo a cabo una completa evaluación del actual diseño de la red de aire comprimido, en el cual se pudo hacer un análisis de las causas y efectos de la situación actual.

Siguiendo con el capítulo cinco, se llevó a cabo el rediseño de la instalación que nos involucra todo lo relacionado a cálculo de la demanda de flujo de aire existente, cálculo de la tubería y todos sus accesorios. En el capítulo seis se llevó a cabo el cálculo de la evaluación económica del proyecto que nos involucra, el costo de tuberías y materiales, mano de obra y ahorro de energía eléctrica. En el capítulo siete, se describe la forma como debe llevarse a cabo el mantenimiento general de los compresores, la red de tubería, equipo y accesorios y por último se hace mención sobre la seguridad industrial en aplicaciones de aire comprimido, ya que es de vital importancia, que como profesionales de la ingeniería veamos la forma de prevenir y evitar accidentes.

OBJETIVOS

- **General**

Llevar a cabo el mejoramiento de la red de aire comprimido que involucra un nuevo diseño de la red de aire comprimido, y la ubicación en un solo lugar de los compresores que permitirán tener una presión y caudal constante y cumplir con la demanda de aire de la planta de clavo y alambre.

- **Específicos**

1. Conocer las generalidades de la empresa Aceros de Guatemala y la planta de clavo y alambre.
2. Conocer las causas y efectos de un sistema con deficiencias en la generación y distribución del aire comprimido.
3. Obtener una información general de los diversos tipos de compresores, para comprender mejor su funcionamiento.
4. Llevar a cabo una investigación para conocer cuál es el uso y aplicación que tiene el aire comprimido en la maquinaria y equipo de la planta de clavo y alambre.
5. Proponer un nuevo diseño de la red de aire comprimido que involucre un cambio de toda la red de tubería.

6. Ubicar los compresores en un solo lugar de la planta, para poder lograr una eficiencia en la generación de aire comprimido.
7. Elaborar los planos de la red de aire comprimido en Auto-CAD.
8. Implementar un plan de mantenimiento preventivo para evitar fugas y fallas en el sistema de generación y distribución de aire comprimido.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es fundamental en la planta de clavo y alambre de la empresa Aceros de Guatemala, ya que permite llevar a cabo varios procesos de producción en los cuales se necesita producir con eficiencia; entre los procesos están el de producción de alambre trefilado, el fabricar los dados para el proceso de trefilado, producir a través del troquelado las cabezas para el clavo de lámina y diferentes actividades de mantenimiento.

Considerando las necesidades de la planta de clavo y alambres, de llevar a cabo el mejoramiento de la red de aire comprimido, en el cual se propone un nuevo diseño de la red de tubería de distribución y de servicio y a la vez se llevará a cabo la localización de los compresores en la bodega de la planta. La razón principal es lograr distribuir el aire comprimido en toda la planta, a una presión y caudal necesario para llevar a cabo todos los procesos de producción que demandan aire comprimido y lograr disminuir paros no programados por algún desperfecto en el equipo que utiliza aire.

Para finalizar con un buen sistema de generación y distribución del aire comprimido, se necesita proyectar el caudal de aire a necesitar y prever futuras ampliaciones, por lo que se hace necesario realizar un estudio ordenado y planificado que involucre un ahorro de energía eléctrica por fugas en tuberías, accesorios que reflejen mejora de la maquinaria y equipo, ya que se evitarán las caídas de presión que conlleva a una mejora en la productividad de los productos trefilados.

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

1.1 Descripción de la empresa

Aceros de Guatemala S.A. es una empresa de capital netamente guatemalteco que se dedica a la fabricación de productos derivados del acero y forma parte de la Corporación Aceros de Guatemala.

Se encuentra ubicada en la 33 calle y calzada Atanasio Tzul zona 12 de la ciudad de Guatemala. La empresa cuenta con 500 empleados distribuidos en sus diferentes plantas de producción.

La empresa fue fundada en la década de los años sesenta, iniciando sus operaciones con la planta de laminación, donde se procesa la varilla de acero para refuerzo de hormigón armado. Actualmente es una de las industrias de fabricación de productos derivados del acero más grandes de Guatemala, la cual cuenta con cuatro plantas, la de clavo y alambre, de laminación, de lámina galvanizada y la de perfiles.

1.2 Descripción de la planta de Clavo y Alambre

La planta de clavo y alambre produce productos derivados del alambre trefilado, lo cual como materia prima se tiene alambre laminado o alambroón de diámetros menores a 8 mm, de acero 1008.

La planta se divide en varias secciones la cuales se van a describir a continuación.

1.2.1 Sección de trefilación

En la sección de trefilación se realiza el proceso de trefilado, o alambrado como también es conocido, ya que consiste en la aplicación de tensión a un alambre con la finalidad de hacerlo pasar a través de un dado para producir una menor sección transversal.

En el contexto desde los procesos de deformación volumétrica, el estirado es una operación donde la sección transversal de una barra, varilla o alambre se reduce al tirar del material a través de la abertura del dado, las características generales del proceso son similares a la extrusión, la diferencia es que en el estirado el material de trabajo se jala a través del dado, mientras que en la extrusión se empuja a través del dado.

El estirado se realiza generalmente como una operación de trabajo en frío, se usa más frecuentemente para producir secciones redondas, pero también se pueden estirar secciones cuadradas y otras formas, el estirado de alambres es un proceso industrial importante que provee productos comerciales como alambre de amarre, alambre espigado, alambre galvanizado, clavo para madera, clavo para lámina.

La materia prima es el alambrón, el cual es un acero de bajo carbono laminado en caliente y una de sus características es que es transportado en rollos, sujetos con cinchos de aproximadamente dos toneladas de peso, por ser un acero de bajo carbono se considera un material dúctil o suave, manejable con una resistencia a la tracción que permite un buen proceso.

La deformación en frío cambia las propiedades mecánicas del material, haciéndolo menos dúctil y por lo tanto se vuelve más duro, esto se debe a que durante el proceso de deformación volumétrica se crean esfuerzos residuales dentro del material procesado y por lo tanto resulta necesario un tratamiento térmico para aliviar las tensiones creadas.

El proceso de trefilado en máquinas mecánicas se lleva a cabo por medio de un motor eléctrico que hace girar un piñón de una caja reductora que está acoplada a un eje común para toda la máquina, este eje transmite la potencia a cada bobina trefiladora por medio de un juego de engranajes cónicos helicoidales que son lubricados por medio de un baño de aceite.

Las bobinas trefiladoras aplican la tensión necesaria al alambre y lo enrollan después que éste haya pasado por un dado que reduce su área transversal, cada dado realiza una cierta reducción en el diámetro del alambre, los dados son seguidos por una caja que contiene polvo especial para trefilar que su función es de lubricante en seco y por ende prolongar la vida de los dados durante el paso del alambro en el dado de trefilar y también de dos poleas que se utilizan para tensar el alambre.

Cada bobina trefiladora tiene movimiento independiente del resto, debido a un embrague de láminas de mando mecánico y puede ser detenida cuando sea necesario por la acción de un freno, las bobinas trefiladoras son enfriadas internamente, el enfriamiento de cada bobina puede ser aislado por medio de válvulas de cierre independiente, los dados de trefilar son enfriados indirectamente por medio de un sistema adicional para evitar que puedan llegar a la falla por fatiga.

1.2.2 Sección de galvanizado

La galvanización se trata del proceso de formación de una capa de recubrimiento de una superficie metálica con zinc con el propósito de evitar que pueda entrar la corrosión, por lo que se hace indispensable en superficies metálicas que van a ser expuestas al aire libre.

El primer paso para la galvanización es el recocido del alambre donde hay una temperatura entre los 800 a 1100 grados centígrados, para ello se utiliza un horno que emplea diesel con su respectivo quemador en el cual se produce un tiro forzado, luego se enfría el alambre bruscamente con un baño de agua, para evitar el deterioro de los químicos utilizados en el proceso, un aspecto crítico del proceso es la preparación de la superficie para lograr una adhesión adecuada del zinc, para ello se utiliza un baño de ácido clorhídrico, seguido por uno de agua, uno de fundente y otro de agua.

Finalmente, la capa de zinc es aplicada al alambre en un horno que utiliza diesel que contiene zinc fundido.

Para enrollar el alambre galvanizado se utilizan unas máquinas que dan la tracción necesaria para todo el proceso y que cuentan con un motor único y varias bobinas acopladas a un mismo eje.

1.2.3 Sección de amarre

En el proceso de trefilación, el alambre sufre un deterioro en las propiedades mecánicas para lo cual adquiere esfuerzos residuales debido al mismo proceso y se hace necesario quitar esos esfuerzos a través de un tratamiento térmico de recocido el cual se lleva a cabo introduciendo los rollos de alambre trefilado calibre dieciséis dentro de unas campanas que tienen una capacidad máxima de veinticinco quintales.

Luego se introducen las campanas dentro de los hornos por un espacio de tres horas, los hornos funcionan por medio de tres resistencias alta, media y baja con una temperatura correspondiente a 763, 792 y 883 grados centígrados respectivamente ya que dentro de los hornos hay ladrillo refractario y un tubo cerámico donde se encuentran ubicadas las resistencias.

Al terminar el período de tiempo se procede a sacar las campanas de los hornos ya que el alambre ha recuperado su ductilidad para poder ser empleado fundamentalmente en labores de la construcción como en el amarre de varilla de construcción ó armadura para la fundición de concreto.

1.2.4 Sección de clavo

El proceso de fabricación de clavos en la planta se realiza con maquinas que funcionan mecánicamente, la sección de clavo se divide en dos que son clavo para madera y clavo para lámina.

Para iniciar el proceso se introduce el alambre del calibre seleccionado a un largo ajustable por el operador se hace un sujeción del extremo del alambre, luego se hace el corte del alambre por medio de las cuchillas para continuar con la formación de la cabeza por medio de un impacto con el macho cabeceador se sigue con el avance del alambre y con el corte final en forma de puntas con las mismas dos cuchillas.

En la fabricación de clavo para madera podemos mencionar que se utiliza alambre calibre 16, calibre 15 y calibre 14 y se producen clavos de $\frac{3}{4}$ de pulgada, 1 y 1 $\frac{1}{2}$ de pulgada respectivamente en sus longitudes.

En la fabricación de clavo para lámina se utiliza alambre trefilado calibre nueve y una cabeza de lámina circular de un diámetro exterior de 18 mm. y un diámetro interno de 5 mm. la cual se coloca en el clavo al finalizar el proceso.

1.2.5 Sección de espigado

El alambre galvanizado puede ser empleado para la venta y puede ser empleado como materia prima para la fabricación de alambre espigado, para producir alambre espigado se utilizan cuatro rollos de alambre galvanizado, dos rollos son usados para los alambres centrales y los otros dos para la fabricación de las púas.

Para poder producir el alambre espigado se hace la alimentación de los alambres de la base, alimentación de los alambres para las púas, retorcido de las púas como también se hace el entorchado del alambre espigado y el enrollado del alambre espigado en una bobina.

Las máquinas de alambre espigado consisten en un motor accionado eléctricamente que transmite su potencia a un eje principal que a su vez transmite la potencia a otras dos poleas.

Una de estas dos poleas hace girar la estructura que soporta la bobina que enrolla el alambre espigado haciendo que un sistema de engranajes gire con este objetivo y entorchando el producto para su presentación final. La otra polea hace que un eje gire para accionar los mecanismos del retorcedor de púas, las cuchillas y la alimentación de alambre para púas, el mecanismo retorcedor de púas es accionado por un cigüeñal en el eje antes mencionado que gira parcialmente un engranaje recto que desplaza angularmente el mecanismo retorcedor.

1.2.6 Sección de enderezado y corte de alambón

En la sección de enderezado y corte de alambón se procesa la varilla para la fabricación de los estribos y los eslabones que se utilizan para las columnas y los cimientos en la construcción de casas y edificios. La sección cuenta con cuatro maquinas que se denominan internamente como zeta y funcionan a base de un motor eléctrico que sirve como la parte principal que permite el movimiento de todos los mecanismos de dichas maquinas.

El proceso se inicia colocando los rollos de varilla lisa de un diámetro de 5.5 mm en el devanador, el alambre entra a la guía y pasa por cinco dados enderezadores del alambre.

Luego el alambre llega a lo que es la barra de soporte y continúa hasta un tope donde hay un micro *Switch* que manda la señal a una electroválvula y al recibir la señal deja pasar aire comprimido hacia un embolo neumático el cual le da movimiento a un eje que hace que las cuchillas de corte funcionan por medio de revoluciones y hagan contacto con el alambre al hacer el corte.

La varilla es cortada por las cuchillas a una longitud estándar de seis metros luego se sacan atados de 30 varillas para poder almacenarse como producto terminado.

2. APLICACIÓN DE LA NEUMÁTICA

La tecnología de la neumática ha ganado una importancia tremenda en el campo de la racionalización y automatización del lugar de trabajo, desde las antiguas obras de madera y las minas de carbón, hasta los modernos talleres de máquinas y robots espaciales. Ciertas características del aire comprimido han hecho este medio bastante adecuado para usarlo en las modernas plantas de fabricación y producción.

Por lo tanto es importante que los técnicos e ingenieros tengan un buen conocimiento de guía del sistema neumático, las herramientas accionadas por aire comprimido y otros accesorios, incluyendo un concepto completo y claro de los principios físicos que rigen el comportamiento del aire comprimido.

En este contexto resulta útil conocer las unidades físicas y matemáticas apoyadas por el “Sistema Internacional”, ya que, hoy en día, casi todos los países usan las mismas unidades de medición, de manera análoga, un concepto claro de la física de la presión y la fuerza puede ayudar a los ingenieros y técnicos a comprender mejor la materia. La tecnología de la neumática también se refiere al estudio del comportamiento y aplicación del aire comprimido aun cuando la ciencia era conocida por el hombre desde hace siglos, no se aplicaba mucho en la industria antes del inicio de la segunda guerra mundial.

Durante la guerra muchas industrias en todos los países occidentales desarrollados empezaron a cambiar para emplear cada vez más equipos y máquinas automáticas.

Muchos de estos eran accionados y retroajustados con dispositivos y accesorios accionados neumáticamente, con fines de fabricación y otras actividades, para satisfacer la repentina necesidad de una mayor producción de artículos bélicos con la tremenda escasez de mano de obra técnica calificada.

Esta fue la época en que se inicio el concepto actual de automatización, incitando al hombre a usar aire comprimido en las plantas de producción, en la actualidad las herramientas y accesorios accionados por aire comprimido son una imagen común en cada una de las industrias y en todas ellas no solo en países tecnológicamente avanzados, sino incluso en aquellos en donde las actividades industriales se encuentran todavía en su etapa inicial. Con la introducción de la neumática en el proceso de fabricación, la industria se beneficia con un medio mas barato de automatización.

2.1 Principios físicos

La tierra está rodeada por aire hasta una altura de aproximadamente 1600 km, desde la parte superior del suelo, se sabe que el aire más cercano al suelo es más denso, en tanto que, al subir, la densidad del aire empieza a disminuir. Esta capa gaseosa de aire alrededor de la tierra se conoce como atmósfera.

2.1.1 El aire

El aire es invisible, incoloro, inodoro y sin sabor. Los principales constituyentes del aire, en volumen, son 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% bióxido de carbono y otros gases, incluyendo cierta cantidad de vapor de agua.

Aunque se encuentra que todos estos componentes del aire conservan sus propiedades particulares, para todos los fines prácticos, ese aire, que es una mezcla de varios elementos químicos, cumple con las leyes de los gases, precisamente como cualquiera otro gas perfecto o ideal.

2.1.2 Presión atmosférica

El aire que rodea la tierra ejerce una presión sobre la superficie de la misma, la presión en los gases se debe a la acción y reacción de los átomos intermoleculares de ellos. Se ha observado que la actividad intermolecular empieza a disminuir hasta que se suspende por completo a la temperatura del cero absoluto, la medida de la presión atmosférica al nivel del mar es de 760 mm de mercurio (Hg).

De manera común se usan diversas unidades para denotar la presión, como kg/cm^2 , atm, psi [es decir *pounds per square inch* (libras por pulgada cuadrada)], aún cuando esta unidad no se debe de usar, ya que la India ha pasado al sistema métrico de medidas desde 1957 en adelante].

La presión atmosférica se mide por medio de un barómetro de tubo en U, en tanto que para medir la presión en una maquina-herramienta o un recipiente de aire, se usa un manómetro de tubo Bourdon, en épocas más recientes, han surgido las herramientas y manómetros digitales para medir la presión, en realidad la presión indicada en el manómetro es una sobre la presión atmosférica, la cual también se denomina presión barométrica y se suma a la presión manométrica para obtener la presión absoluta. Para la mayor parte de los cálculos de ingeniería relacionados con la presión, tiene que usarse el valor absoluto de la presión y, por consiguiente, es esencial que se comprenda la diferencia entre presión absoluta y presión manométrica.

Puede calcularse la presión atmosférica a partir del principio fundamental del barómetro, el cual sigue la ley de que su lectura corresponde a la presión debida a la altura del mercurio (Hg) en el tubo y su peso.

$$\text{Presión atmosférica} = \rho gh$$

En donde ρ = densidad del Hg, 13.06 g/cm³

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

h = altura de la columna de mercurio = 76 cm del nivel del mar.

Mediante el cálculo, de acuerdo con la formula anterior, la presión atmosférica es igual a 1.013 bar, pero para facilitar los calculos, suele tomarse como igual a 1.0 bar.

2.1.3 Ley de los gases

Como se puede expresar que cuando el aire es una mezcla de varios gases, se comporta como un gas perfecto o ideal, con una desviación muy insignificante respecto de este, como consecuencia, las dos leyes de los gases conocidas como ley de Boyle y ley de Charles se aplican por igual al aire.

2.1.4 Ley de Boyle

La ley de Boyle afirma que, si la temperatura permanece constante, la presión de una masa confinada de gas variará inversamente con su volumen, por consiguiente si P es la presión absoluta de un gas y V es su volumen entonces, según la ley Boyle.

Ley de Boyle: P_1 = Presion inicial

P_2 = presión final; V_1 = volumen inicial

V_2 = volumen final; $P_1V_1 = P_2V_2$

$$P \propto 1/V$$

O sea $PV = \text{constante}$

Por lo tanto puede escribirse que

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 \dots P_nV_n$$

2.1.5 Ley de Charles

La ley de Charles afirma que si permanece la presión constante, el volumen de una masa dada de gas variará directamente según su temperatura absoluta.

Si T_1 y T_2 son las temperaturas absolutas inicial y final, respectivamente, y V_1 y V_2 son los volúmenes iniciales y final de una masa dada de gas.

2.1.6 Ley combinada de los gases

Para la misma masa de gas que sigue las leyes de un gas ideal, las dos leyes antes enunciadas se pueden expresar en una forma combinada, como sigue:

$$PV/T = mR$$

en donde $P =$ presión absoluta (kg/cm^2) (abs) u otras unidades

$V =$ volumen (m^3)

$T =$ temperatura absoluta (K)

$m =$ masa del gas (kg)

$R =$ constante de los gases

La constante de los gases (R) es la cantidad de trabajo requerida para elevar la temperatura de una masa de 1 kg del gas en un grado kelvin.

2.1.7 Unidades de presión

Aunque el Kg/cm² todavía se usa como unidad de presión, en realidad no es del todo correcto, al ser el kilogramo la unidad de masa, no debería usarse como unidad de fuerza (en tal caso, a menudo se escribe Kgf, para indicar que se trata del kilogramo fuerza). De acuerdo con el sistema internacional SI de unidades, la unidad de fuerza es en newton (N) y la de área es el metro cuadrado (m²), por lo tanto, la unidad de presión, según la definición de ésta, debe ser 1 N/m².

1 N/m² se llama 1 pascal (Pa) en el sistema internacional SI, según las normas ISO 100000 Pa = 1 bar, o sea 10⁵ Pa = 1 bar en donde el bar se ha aceptado como una unidad adicional de presión, para el uso industrial en el sistema internacional SI.

2.2 Introducción a los compresores

Aunque no se encuentra conectado directamente al sistema neumático, el compresor de aire desempeña un papel vital en el rendimiento global del sistema, en la industria se usan diversos tipos de compresores de aire pero los de desplazamiento positivo son los más populares, los compresores de desplazamiento positivo se clasifican en reciprocantes que son los del tipo pistón, como también los rotativos que se dividen en lóbulo recto, de paletas deslizantes y pistón líquido.

En ciertas aplicaciones, es esencial que el aire comprimido no contenga aceite, esto se logra por medio del compresor de aire recíprocante del tipo de diafragma, el tanque de compresión es un equipo importante en la familia del compresor.

Con el fin de contar con una alimentación ininterrumpida de aire comprimido, se debe seleccionar un tanque del tamaño óptimo, también debe darse importancia a la condensación de la humedad, al seleccionar e instalar una planta de compresores.

2.2.1 Transmisión de potencia

El aire comprimido se usa para accionar una gran variedad de herramienta y maquinaria como lo son los taladros y los martillos neumáticos, chorros de arena y pulverizadores para preparar superficies metálicas y protegerlas, bombas, y en general para accionar todos aquellos equipos que funcionan con motores neumáticos.

2.2.2 Alimentación de un proceso de combustión

La compresión de aire es un factor de vital importancia para mejorar el funcionamiento de los motores de combustión interna así como de las turbinas de gas.

2.2.3 Transporte y distribución de gases

La manera más económica de transportar y distribuir gases por tuberías es comprimiéndolos previamente antes de introducirlos en las mismas.

2.2.4 Accionamientos de controles neumáticos

Una gran cantidad de controles de procesos industriales son accionados por aire comprimido, las presiones relativas requeridas en el suministro de aire comprimido para algunos de los propósitos enumerados son, para controles neumáticos puede ser de una presión de (0.07 a 1.05 kg/cm² ó bien de 1.00 a 15.00 lbs/plg²), para herramienta neumática puede ser de una presión de (5.00 a 6.50 kg/cm² ó bien de 70.00 a 92.00 lbs/plg²), para motores de aire comprimido puede ser de 3.00 a 7.00 kg/cm² ó bien de 42.00 a 100.00 lb/plg².

2.3 Métodos de compresión

Se utilizan cuatro métodos para comprimir un gas, dos son de flujo intermitente y los otros dos son de flujo continuo.

2.3.1 Compresores por flujo intermitente

A este método también recibe el nombre de compresión de desplazamiento positivo siendo dos las formas en que se puede llevar a cabo:

- a) Atrapar cantidades sucesivas de gas en una cámara, reducir su volumen incrementando así la presión y finalmente empujar el gas comprimido fuera de la cámara para su utilización.

- b) Atrapar cantidades de gas sucesivas en un espacio cerrado trasladarlo sin cambio de volumen a la descarga de un sistema de alta presión y comprimir el gas por contraflujo del sistema de descarga, empujando finalmente el gas comprimido fuera del recinto.

2.3.2 Compresores por flujo continuo

Llamado también de desplazamiento no positivo pudiéndose llevar a cabo en dos formas que son:

- a) Comprimir el gas por la acción mecánica de un impulsor o rotor con paletas de rápida rotación el cual imparte velocidad y presión, al gas que está fluyendo, la velocidad se convierte en presión en difusores estacionarios.
- b) Utilizar 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 localizado corriente abajo.

2.4 Tipos de compresores

Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diverso tipos de construcción.

Se distinguen dos tipos básicos de compresores, de desplazamiento positivo y de flujo continuo, la distinción principal entre ellos se encuentra en el método de transferencia de la energía y generación de la presión.

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 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).

Para producir aire a bajas presiones, inferiores a 385 mm de agua, se utilizan generalmente ventiladores, pero por encima de este valor se emplean varios tipos de compresores.

Todos los compresores pueden instalarse en serie o en paralelo para aumentar la presión o la capacidad, cuando hablamos de compresores en serie nos referimos a que van a ser instalados todos a una misma tubería y van a estar alimentando un tanque pulmón, trabajando en secuencia, según la demanda de aire que les sea requerido y cuando hablamos de compresores trabajando en paralelo se refiere a que están trabajando separadamente y funcionan según la demanda de aire que les sea requerido.

Cada tipo posee características que los identifican y que los hacen apropiados para una determinada aplicación, así por ejemplo las características de velocidad, la relación entre capacidad y peso, o el rendimiento puede señalar a un compresor como indicado para un uso e impropio para otro.

Los compresores de embolo tienen válvulas de admisión y de escape, y un pistón, y la correspondiente lubricación de los anillos y paredes del cilindro, por tal razón el aire comprimido contiene cierta cantidad de aceite, los compresores y ventiladores centrífugos carecen de válvulas y no necesitan lubricación interna debido a que no hay contacto entre metal y metal.

2.4.1 Compresores de desplazamiento positivo por flujo intermitente

Son aquellos en los cuales los volúmenes sucesivos de gas son confinados dentro de un espacio cerrado y elevados a una mayor presión.

Los compresores de desplazamiento positivo incluyen máquinas reciprocantes como las de pistón y de diafragma y máquinas rotatorias del tipo de paletas, de engrane, de espirales y de lóbulos.

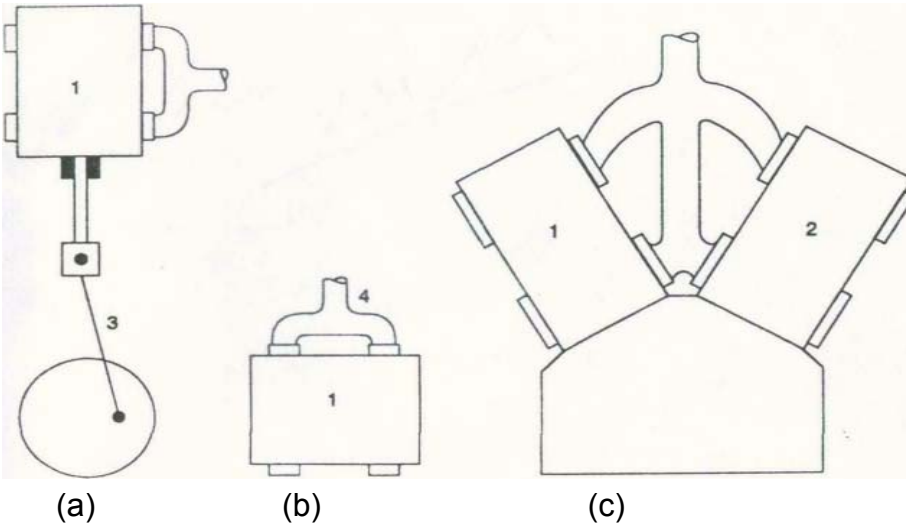
En esta máquina la elevación de la presión requiere un pequeño o ningún espacio libre más algún método de lubricación y por lo tanto el gas comprimido puede quedar sujeto a contaminación por parte del lubricante, sin embargo, algunos compresores especiales del tipo reciprocante o de paletas con anillos del pistón o paletas de carbón están diseñadas para funcionar sin aceite lubricante.

2.4.1.1 Compresores reciprocantes

Son muy variados, incluyendo máquinas especiales para necesidades poco comunes, la relación máxima de compresión puede ser tan elevada como diez por etapa, existen compresores de dos etapas para relaciones de compresión mayores que ocho.

La aplicación de etapas múltiples puede producir presiones de descarga hasta de 2458 lb/plg², pero difícilmente se observa una presión tan elevada en un sistema neumático, lo anterior se muestra en la figura 1 donde se ilustra tres tipos diferentes de compresores de aire de pistón.

Figura 1. Tres tipos de compresores recíprocentes de aire



Fuente: S, R, Majumdar, **Sistemas Neumáticos**. Pág. 36

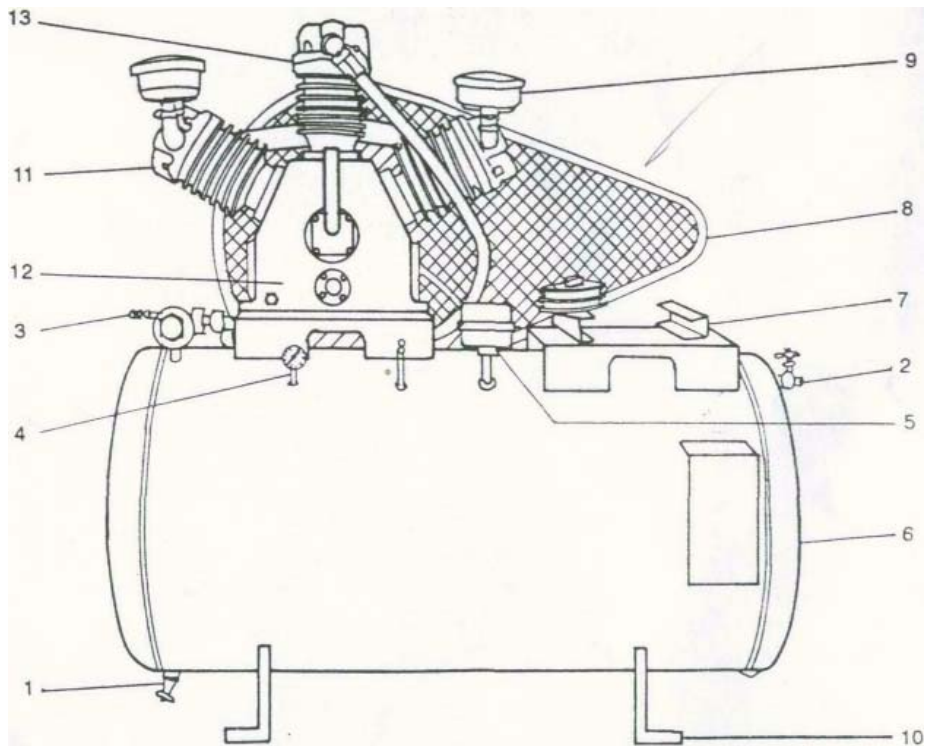
a) Vertical, b) Horizontal, C) Radial. 1 y 2 Bloque del cilindro, 3. Conjunto de la biela, 4. Turbo de carga.

Ya se ha señalado que los compresores de una sola etapa son aquellos en que la compresión desde la presión en la admisión hasta la de descarga, se realiza en un solo paso, es decir en un compresor recíprocante se lleva a efecto en una sola carrera del pistón, los compresores de etapas múltiples son aquellos en que la compresión se realiza en dos o más pasos o etapas distintas, en un compresor recíprocante, los pasos sucesivos suelen producirse en cilindros separados.

La construcción de un compresor recíprocante es semejante al de un motor de combustión interna (CI), el cual consta de un cuerpo de hierro fundido o de aluminio con un tanque de aceite, la base, el pistón con sus anillos, válvulas, bielas, manivelas, cigüeñal, cojinetes.

En la figura 2 se ilustran varias partes exteriores de un compresor de aire de tipo recíprocante.

Figura 2. Partes de un compresor recíprocante de aire



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 37.

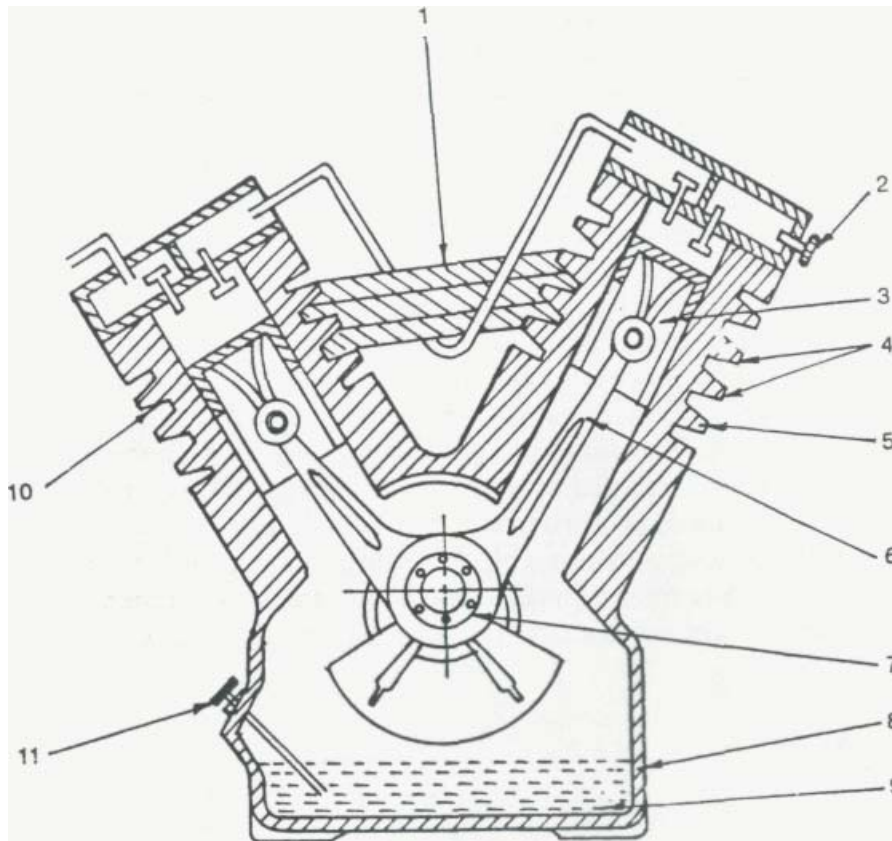
1. Válvula de salida del agua 2. Válvula de salida del aire, 3. Válvula de seguridad, 4. Manómetro, 5. Interruptor accionado por la presión. 6. Tanque de aire, 7. Base del motor eléctrico, 8. Protección, 9. Filtro de admisión, 10. Base, 11. Cilindro de la primera etapa, 12. Depósito de aceite, 13. Cilindro de la segunda etapa.

El medidor de nivel del aceite, el tapón roscado del orificio para llenar de aceite el tapón roscado del orificio para extraer el aceite, también son partes importantes de un compresor de aire.

El interruptor accionado por la presión está conectado al motor impulsor y se encuentra ajustado de tal manera que se dispara automáticamente, desactivando la conexión eléctrica que va al motor, tan pronto como el tanque de compresión llegue a la presión deseada de ajuste.

En la figura 3 se muestran las partes interiores de un compresor recíprocante de aire de dos etapas.

Figura 3. Vista esquemática de un compresor recíprocante de aire de dos etapas



Fuente: Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 37.

1. Elementos del interenfriador, 2. Filtro de la succión. 3. Pistón, 4. Aletas, 5. Cilindro de la segunda etapa, 6. Biela, 7. Manivela y cigüeñal, 8. Cárter, 9. Aceite, 10. Cilindro de la primera etapa. 11. Varilla de medición del nivel de aceite

El principio de trabajo se inicia con el arranque del motor eléctrico, la manivela gira y el pistón del cilindro de la primera etapa succiona aire atmosférico a través del filtro correspondiente y de la válvula de admisión.

En la siguiente rotación de la manivela, el pistón invierte su movimiento y comprime el aire.

El aire comprimido hace que se abra la válvula de salida y se escapa a través del interenfriador hacia el cilindro de la segunda etapa, forzando la apertura de la válvula de admisión de este último, en este cilindro el aire se comprime todavía más, hasta el nivel deseado, y se alimenta al tanque de compresión por el condensador a compresión, a través de su válvula de salida.

Alrededor del pistón se encuentran los anillos del mismo, para hacerlo hermético al aire, estos se fabrican principalmente de hierro fundido, con una junta de extremos simples, ahusados o escalonados.

El compresor necesita una lubricación razonable, para lograr una mayor duración sin problemas, para una operación continua con carga pesada, el cilindro de la primera etapa se conoce como cilindro de baja presión (BP), en donde se comprime inicialmente el aire tomado de la atmósfera

El otro cilindro es el de la segunda etapa, el cual es de diámetro menor y también se conoce como cilindro de alta presión (AP), en este el aire comprimido que viene del primer cilindro o de BP se comprime todavía más hasta la presión elevada, cuando el aire se comprime, se genera calor considerable, este calor se debe disipar al menos en las unidades en donde la presión sea mayor que 2 bar, ya que la máquina principal se enfría por circulación de aire ó agua.

En las máquinas enfriadas por aire, este proceso se realiza por medio de aletas que se encuentran sobre la pared del cilindro o las paredes de los cilindros y un ventilador de circulación que hace fluir aire a través de las aletas y también por las superficies del interenfriador si la máquina es de etapas múltiples.

En las máquinas enfriadas por agua, ésta se hace circular por camisas que rodean el cilindro, o cilindros, para captar y llevarse el calor en exceso, en las máquinas de etapas múltiples, enfriadas por agua, ésta también se hace circular en los tubos del interenfriador.

Existen compresores de una sola etapa, enfriados por aire, para servicio intermitente para presiones hasta de 10 a 12 bar, en tamaños hasta alrededor de 3 kW.

Los compresores de una sola etapa, enfriados por agua, se encuentran para presiones de 100 lb/plg², en tamaños hasta 75 kW, y para presiones ligeramente más bajas a una potencia inferior, casi invariablemente, las unidades grandes son del tipo de etapas múltiples, enfriadas por agua, para presiones arriba de 57 lb/plg² a 71 lb/plg².

En el rango para el que existen tanto máquinas enfriadas por aire como enfriadas por agua, cualquiera de los dos tipos, o ambos, pueden resultar satisfactorios dependiendo de las condiciones, las unidades enfriadas por aire resultan convenientes donde existe peligro de congelación, en lugares aislados y en donde no se justifica el gasto de vigilar una válvula de derivación del agua o que ésta sea automática, se deben usar máquinas enfriadas por agua donde la temperatura del aire es elevada y en donde resulta objetable el calor proveniente del compresor.

Los compresores reciprocantes de etapas múltiples y muchas máquinas con la misma característica de otros tipos tienen interenfriadores entre estas etapas, estos son intercambiadores de calor que suelen diseñarse para reducir la temperatura del aire comprimido hasta cerca de aquella con la que entró a la primera etapa, esta reducción en la temperatura conduce a un ahorro claro en la potencia.

2.4.1.2 Compresores rotativos

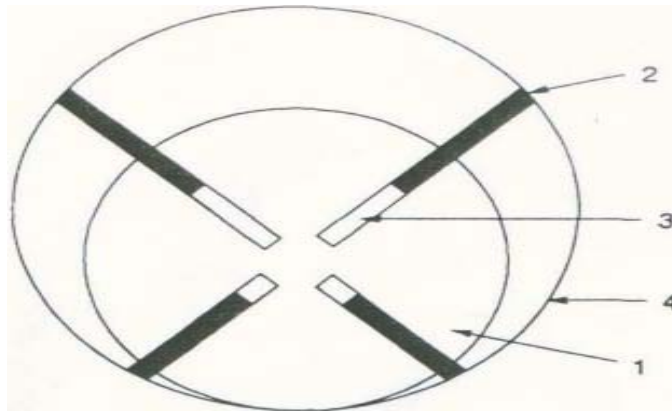
Son máquinas en las cuales la compresión y el desplazamiento son efectuados por la acción de desplazamiento de elementos que están en rotación.

2.4.1.3 Compresores de paletas deslizantes

Los compresores de paletas deslizantes pueden producir una relación de compresión de más o menos ocho por etapa, se comportan de manera eficiente sobre un amplio rango de presiones y de gastos, en particular para relaciones de presiones de dos o mayores, no producen pulsos y como consecuencia, se pueden usar sin tanque de compresión, si es necesario.

En la figura 4 se da un diagrama esquemático sencillo de un compresor de paletas.

Figura 4. Compresor de aire del tipo de paletas rotatorias (vista esquemática)



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 43.

1. Bloque del rotor, 2. Paleta. 3. Ranura de la paleta, 4. Bloque del cilindro

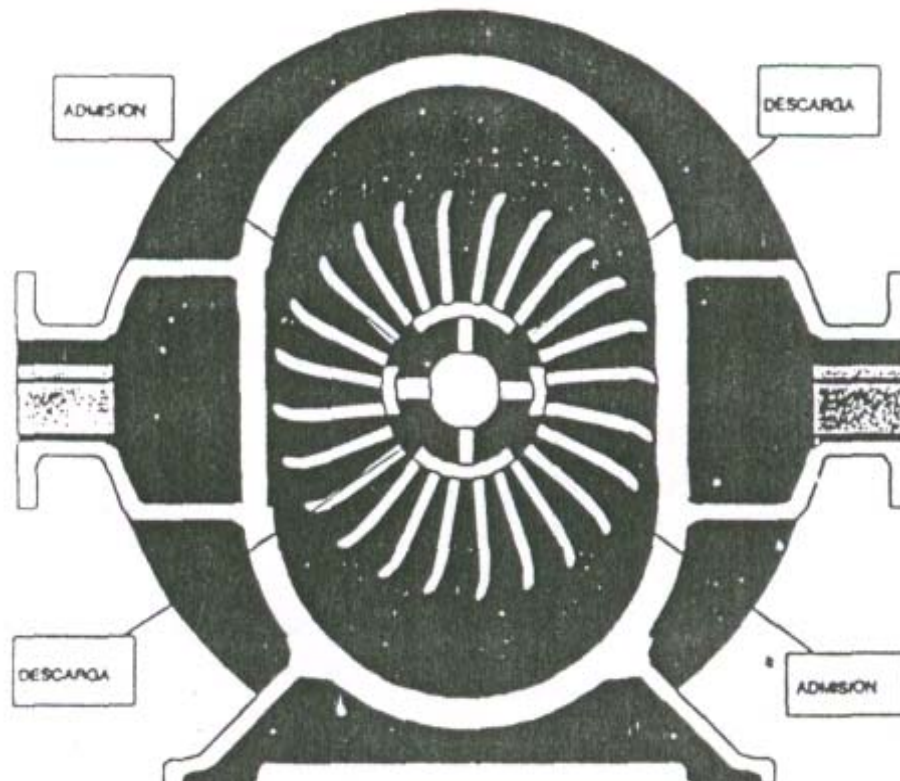
El compresor consiste en un rotor sencillo del tipo de paletas encerrado en un cuerpo estator que tiene un diámetro interior para baja presión y otro para alta, en las máquinas de dos etapas, el rotor está colocado excéntricamente en el interior del alojamiento estator y las paletas deslizantes, que están introducidas en ranuras longitudinales en el rotor, se deslizan hacia adelante y hacia atrás adentro de esas ranuras, con fines de lubricación, se inyecta aceite en el alojamiento, en ambas etapas, y ese aceite realiza las siguientes funciones:

1. Lubricación de cojinetes, engranes y otros.
2. Enfriamiento del aire mientras se está comprimido.
3. Sellado de todas las holguras.

2.4.1.4 Compresores de pistón líquido

El compresor de pistón líquido o de anillo líquido utiliza un rotor con paletas curvadas hacia adelante alrededor de un cuerpo central que tiene aberturas de admisión y descarga, las paletas actúan sobre un anillo de líquido atrapado en el interior de una carcasa elíptica, esto se muestra en la figura 5.

Figura 5. Compresor de pistón líquido



Fuente: Catalogo de Ingersoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 4.

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 fuera de este espacio debido a la forma de la carcasa, el principio de operación es similar al del compresor de paletas deslizantes, con la diferencia de que, en este caso, son las paredes de líquido y no las paletas las que se mueven y hacen que el volumen de las cámaras que se forman entre dos paletas consecutivas disminuya 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 descarga localizadas en el centro son fijas y no hay válvulas.

En cada revolución, se completan dos ciclos de compresión en cada cámara de compresión.

El enfriamiento en los compresores de anillo líquido se hace directamente en la frontera física entre el gas y el líquido que comprime 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 descarga final se puede mantener muy cerca de la temperatura de admisión de líquido, sin embargo, el gas descargado queda saturado a la temperatura de descarga, 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 pasarse a través del compresor no es crítica, la unidad no sufrirá daños si una gran cantidad de líquido inadvertida, o intencionalmente, entra en la succión.

Sólo se requiere lubricación en los rodamientos, los cuales están generalmente localizados en el exterior de la carcasa, el líquido mismo actúa como elemento de desplazamiento, lubricante, medio sellante y refrigerante de la unidad de compresión, es posible lograr dos etapas colocando dos de estas maquinas en serie.

2.4.1.5 Compresores de lóbulo recto

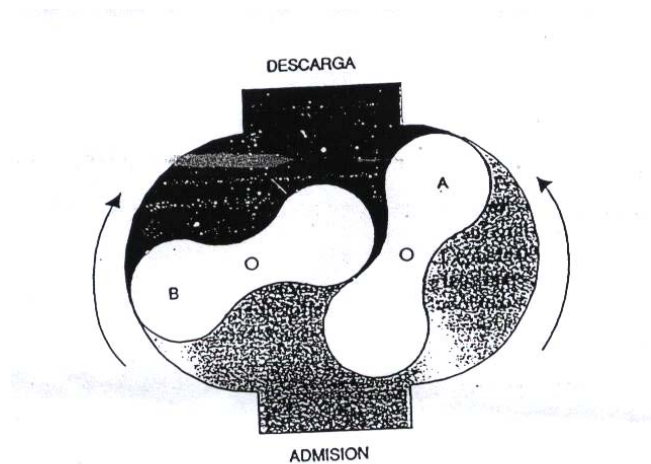
Un compresor de desplazamiento positivo de doble impulsor y lóbulo recto consta de una carcasa que contiene dos o tres rotores simétricos idénticos que tienen una sección transversal en forma de ocho, estos se mantienen encajados en fase mediante piñones exteriores acoplados y rotan en sentidos opuestos.

No hay compresión o reducción del volumen del gas durante el giro de los rotores, estos últimos simplemente mueven el gas desde la admisión hasta la descarga, la compresión tiene lugar cuando los lóbulos entregan el gas al sistema de descarga o tanque receptor, el aumento de presión no se debe a la reducción de volumen para una cantidad fija de gas, sino al aumento en el número de moléculas de gas presente en un volumen fijo, hemos identificado este proceso con el nombre de contraflujo.

El sellamiento se consigue mediante tolerancias muy estrictas y no se requiere lubricación dentro de la cámara de compresión, un impulsor es movido directamente, mientras que el otro es movido por medio de piñones acoplados, puesto que ambos impulsores hacen la misma cantidad de trabajo, y el piñón transmite el cincuenta por ciento de la potencia total suministrada.

La forma en que funciona lo anteriormente expuesto puede mostrarse en la figura 6, donde el sombreado claro indica el gas a la presión de admisión, el sombreado oscuro indica el gas a la presión de descarga.

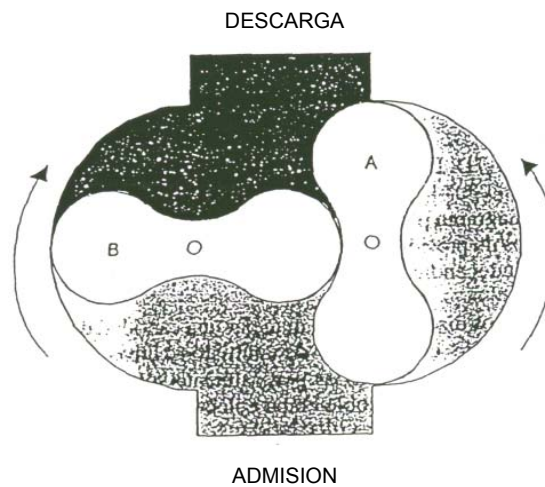
Figura 6. Diagrama A del compresor de lóbulo recto



Fuente: Catalogo de Ingesoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 5

En la figura 7 del diagrama B el lóbulo A ha cerrado la admisión pero aun no ha pasado el borde de la abertura de descarga, el lóbulo B aun esta descargando.

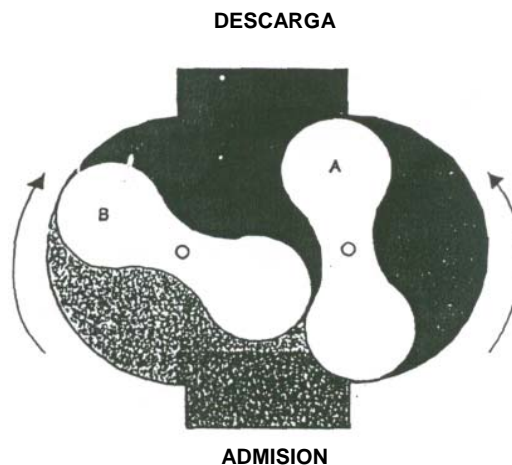
Figura 7. Diagrama B del compresor de lóbulo recto



Fuente: Catalogo de Ingesoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 5.

En la figura 8 del diagrama C el lóbulo A ha pasado la abertura de descarga permitiendo que el gas fluya a la cámara, comprimiendo el gas que allí se encuentra, el otro lado del lóbulo A está empezando el ciclo de admisión, el lóbulo B aun está descargando.

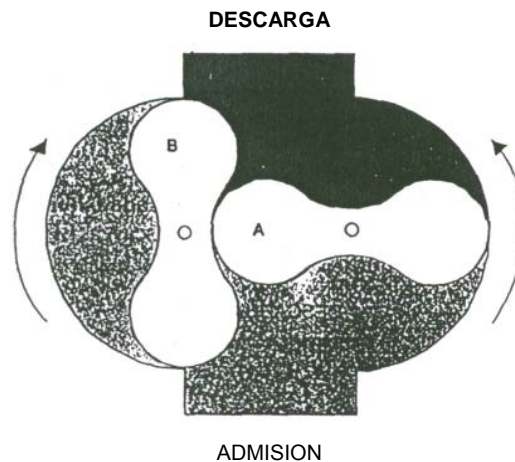
Figura 8. Diagrama C del compresor de lóbulo recto



Fuente: Catalogo de Ingesoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 6.

En la figura 9 del diagrama del diagrama D el lóbulo A aun está descargando en un lado y llenando su otra cámara con gas de admisión.

Figura 9. Diagrama D del compresor de lóbulo recto



Fuente: Catalogo de Ingesoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 6.

A lo largo de este ciclo, los rotores han girado aproximadamente 90 grados, los 90 grados siguientes completan un ciclo similar, en el cual el lóbulo B realiza lo que en este cuarto de vuelta hizo el lóbulo A, ya que hay cuatro entregas por revolución.

El diagrama PV teórico es un rectángulo debido a que los cambios de presión y los cambios de volumen se realizan en forma independiente, aunque algunos diseños pueden manejar una cantidad de líquido considerable con el gas de admisión, otros deben ser protegidos, estas unidades generalmente son enfriadas por aire, se pueden tener de doble etapa colocando dos unidades en serie.

2.4.2 Compresores dinámicos por flujo continuo

El aumento de presión en un compresor dinámico es consecuencia de la transferencia de energía entre un juego de aspas giratorias y el gas, el rotor realiza esta transferencia de energía induciendo cambios en el momentum del gas.

El momentum relacionado con la energía cinética es convertido en energía de presión mediante la desaceleración del gas en un difusor estacionario o en otro juego de aspas corriente abajo.

La designación centrífugo se usa cuando el flujo de gas es radial, la designación axial se usa cuando el flujo de gas es paralelo al eje del compresor, y la designación de flujo mixto se usa cuando el flujo del gas tiene componentes axiales y radiales, a pesar de que estos diferentes tipos de compresores se construyen de manera distinta, se basan en la misma teoría aerodinámica.

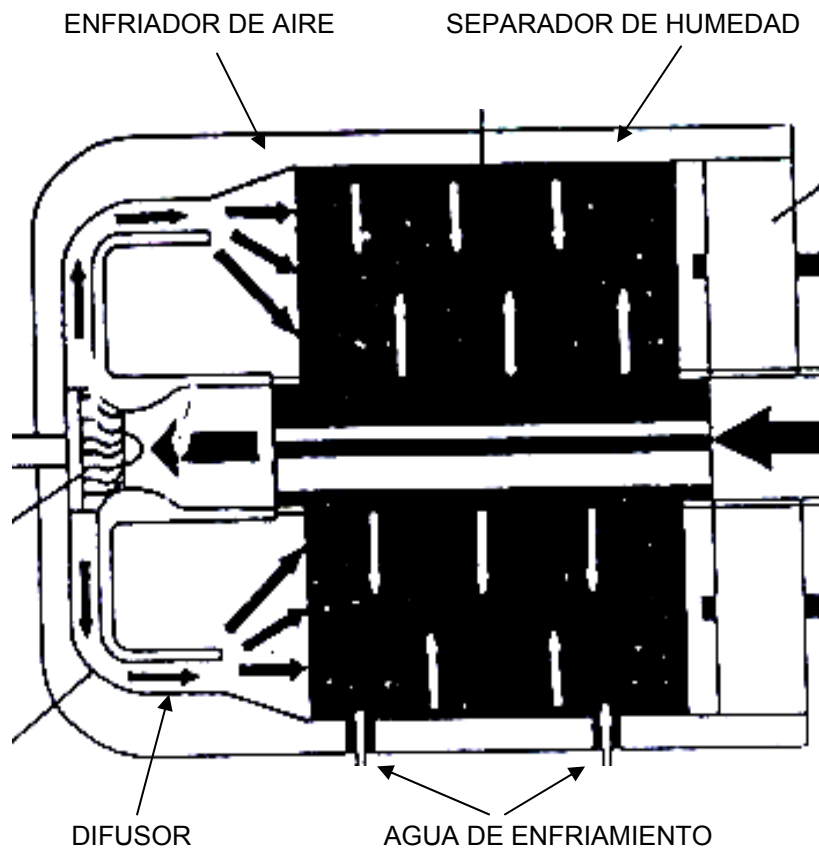
2.4.2.1 Compresores centrífugos

Los compresores centrífugos son compresores dinámicos, se tiene un paso continuo del punto de admisión al de descarga del compresor, el impulsor que gira a velocidades muy altas, a veces a más de 50000 rpm, imparte energía cinética al aire.

El aire a alta velocidad se pasa por un difusor y caracoles, en donde pasos divergentes convierten dinámicamente la energía cinética del aire en carga de presión.

Los impulsores giran en un espacio con tolerancia estrecha en la carcasa, el aire comprimido que sale de estos compresores no tiene aceite en lo absoluto y solo logran presiones y capacidades de descarga muy elevadas, la eficiencia de estas máquinas es mayor que las reciprocantes en un rango de capacidades grandes. En la figura 10 se muestra un compresor centrífugo.

Figura 10. Compresor Centrífugo



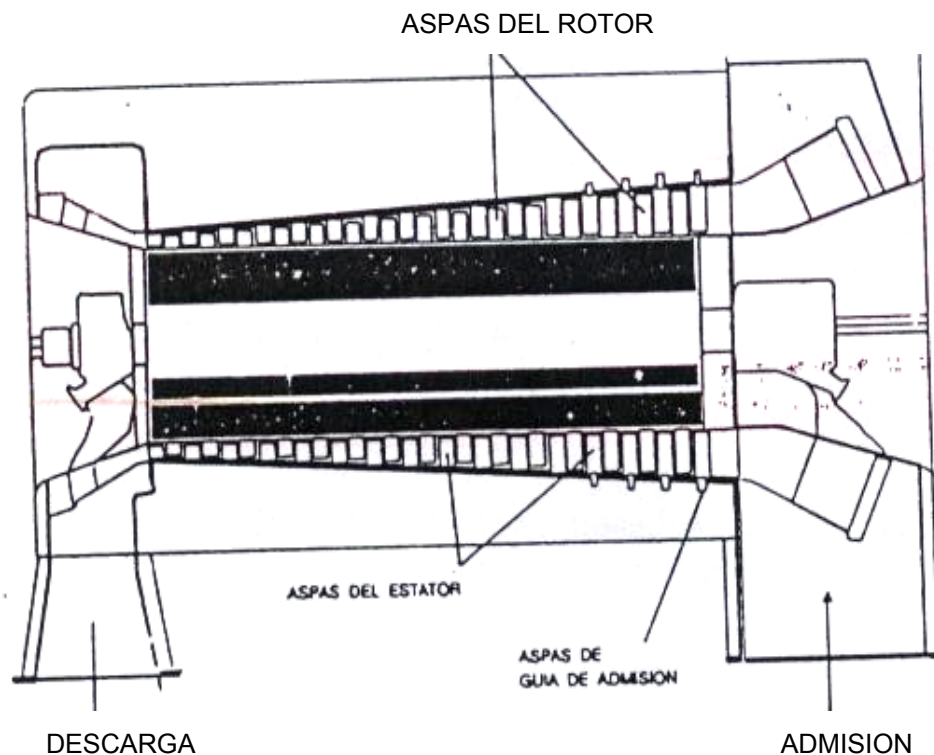
Fuente: Catalogo de Ingersoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 8.

Es de notar su sencillez, esta puede ser la máquina más simple del mercado hoy día, su diseño basado en pocas partes en movimiento aseguran una operación confiable y una larga vida útil.

2.4.2.2 compresores axiales

El compresor dinámico de flujo axial es esencialmente una máquina de gran capacidad y de alta velocidad con características un poco diferentes de las de máquinas centrífugas, en la figura 11 se muestra un compresor de flujo axial.

Figura 11. Compresor Axial



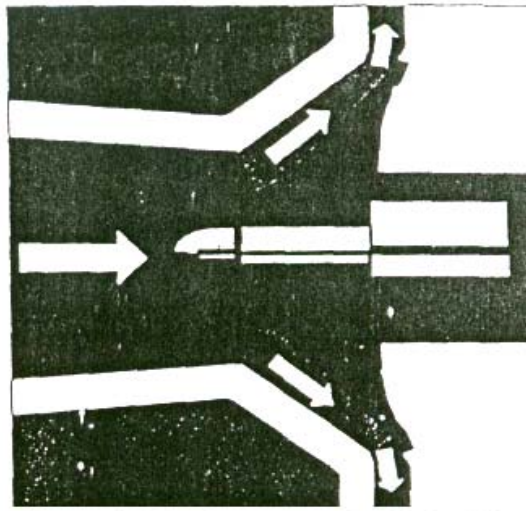
Fuente: Catalogo de Ingersoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 8.

Cada etapa consta de dos filas de aspas, una fila giratoria y la siguiente estacionaria, las aspas del rotor imparten velocidad y presión al gas a medida que el rotor gira, la velocidad se convierte en presión en las aspas estacionarias (generalmente la mitad de la presión se alcanza en las aspas del rotor y la otra mitad en el estator), el flujo va predominante en la dirección axial.

2.4.2.3 Compresores de flujo mixto

Entre los dos anteriores diseños se encuentra el compresor dinámico de flujo mixto, el cual combina características de diseño del centrífugo y el axial, sus características únicas de flujo hacen de este compresor el equipo ideal para aplicaciones de baja presión, el impulsor de flujo mixto puede manejarse entre dos y tres veces el flujo que manejaría el impulsor de un compresor centrífugo con igual diámetro, lo anterior se muestra en la figura 12.

Figura 12. Compresor de Flujo Mixto



Fuente: Catalogo de Ingesoll-Rand. **Aire comprimido** Pág. 8.

2.5 Acondicionamiento del aire comprimido

El aire que se succiona en un compresor de aire no está del todo limpio, la presencia de contaminantes puede tener un efecto intensamente dañino sobre las superficies correlativas, finamente acabadas, de los componentes neumáticos.

La condensación del agua es otro problema molesto en un sistema neumático, el aire que sale del compresor debe secarse por diversos medios, los técnicos e ingenieros de mantenimiento deben ser capaces de comprender las diversas complicaciones relacionadas con lo antes mencionado.

2.5.1 Unidad de filtro, regulador, lubricador

Evidentemente el aire que es succionado por el compresor no se encuentra limpio, debido a la presencia de diversos tipos de contaminantes de la atmósfera, es más el aire que se alimenta al sistema desde el compresor se contamina todavía mas, en virtud de la generación de contaminantes, también es un hecho que la presión del aire rara vez permanece estable debido a la posibilidad de fluctuaciones en la línea.

Por consiguiente, para poder suministrar aire comprimido limpio puro y sin contaminación, es necesario filtrar el aire, el rendimiento y exactitud del sistema depende en gran parte de la estabilidad de la presión del suministro de aire.

Por lo tanto, un filtro de aire y un regulador de presión en la línea ocupan un lugar importante en el sistema neumático, junto con un tercer componente, un lubricador de la línea de aire.

La función principal del lubricador es proporcionar el aire con una película lubricante de aceite, estas tres unidades en conjunto se conocen como unidad de servicio o unidad de filtro, regulador lubricador FRL, de donde los tres elementos principales son:

1. Filtro de aire
2. Regulador de presión
3. Lubricador

Como se mencionó con anterioridad, el aire comprimido contiene diversos tipos de contaminantes sólidos, líquidos y gaseosos, como polvo, suciedad, humedad y otras diversas partículas que desgastan el compresor.

El aire de la atmósfera contiene humedad en una cantidad variable que depende de las condiciones atmosféricas prevaletientes en un lugar o momento particulares, la cantidad de vapor de agua que se encuentra presente en el aire atmosférico depende de la humedad relativa (HR) del aire, la humedad relativa se define como:

$$HR = \frac{\text{Cantidad de agua en realidad presente en el aire}}{\text{Cantidad de agua presente en el aire saturado}} \times 100$$

La HR siempre se expresa en porcentaje, otro término común que se asocia con la humedad relativa es el punto de rocío, este punto se define como la temperatura a la que la humedad del aire se empieza a condensar, si el punto de rocío es alto, más elevada será la temperatura necesaria para condensar y separar el agua.

Con un punto de rocío más bajo, la temperatura a la cual el agua se empieza a separar será más baja, para el aire comprimido, la cantidad de humedad presente en él estará aproximadamente relacionada con la relación de compresión, tal como para una presión de 85 lb/plg², es decir 6 bar.

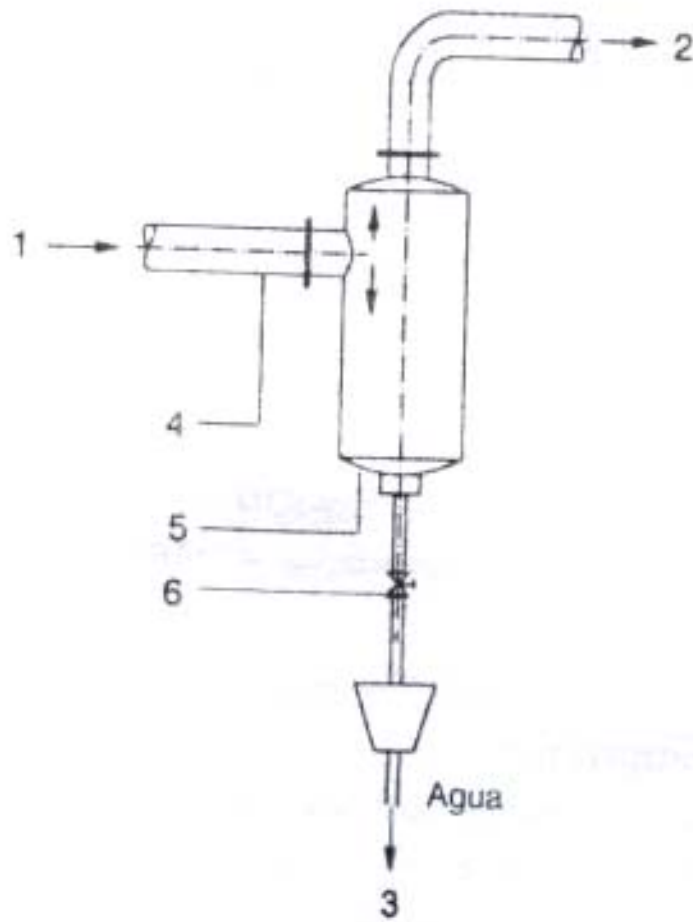
Se ha encontrado que las temperaturas más altas y las presiones más bajas permiten la existencia de más agua en el aire, como consecuencia, para salvaguardar los componentes neumáticos contra los efectos corrosivos del agua y la herrumbre, tienen que instalarse secadores del aire en puntos apropiados en la línea de aire a presión.

Los postenfriadores colocados precisamente después del compresor de aire ayudan a extraer la mayor parte del agua, para eliminar la humedad más adelante se pueden utilizar los siguientes métodos:

1. Se podría pasar el aire comprimido a través de un refrigerador.
2. Puede calentarse el aire comprimido por medio de un quemador o un hogar.
3. Se puede pasar el aire comprimido a través de diversos tipos de desecantes, por ejemplo, gel de sílice o alúmina.
4. Se puede usar filtros finos por ejemplo, filtros de porcelana para retener los contaminantes con tamaños inferiores a una micra.

La condensación del agua es una desventaja importante para las líneas y sistemas neumáticos, resulta esencial colocar trampas de agua apropiadas, en la figura 13 se esquematiza lo que es una de esas trampas drenadoras o colectoras en una línea neumática.

Figura 13. Uso de la trampa de agua



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 65.

1. Aire de la línea de compresor, 2. Aire sin agua, 3. Condensado, 4. Tubería. 5. Trampa de agua, 6. Línea de conexión y desconexión

2.5.1.1 Filtro de aire

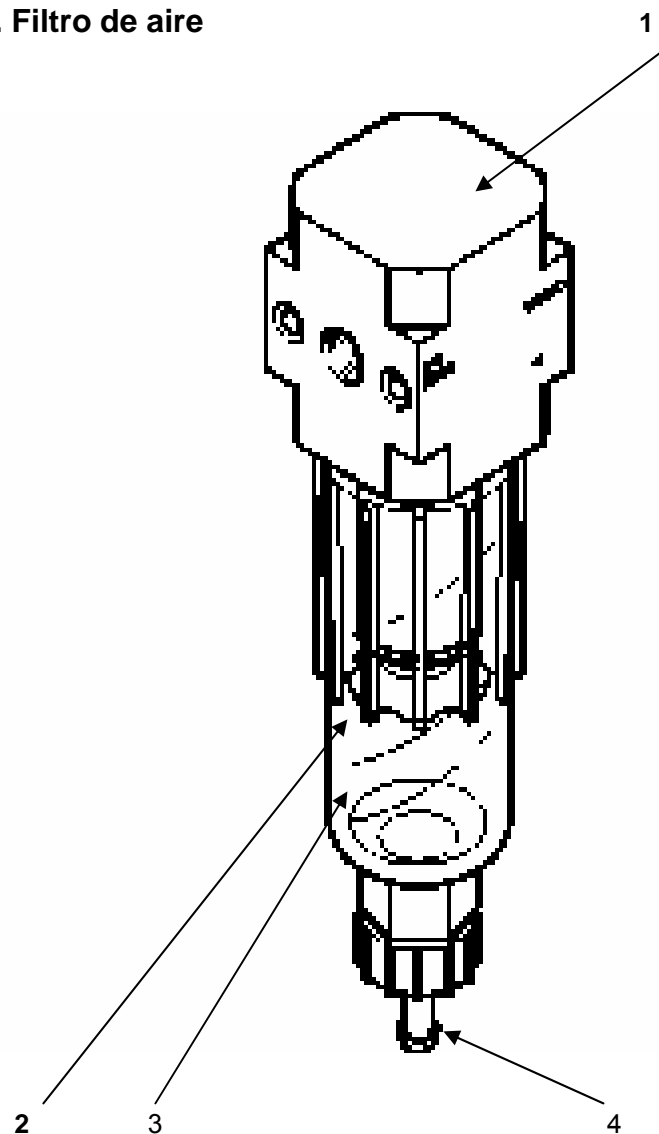
Los filtros de aire se usan en un sistema neumático para realizar varias funciones principales:

1. Impedir la entrada de contaminantes sólidos al sistema.

2. Condensar y extraer el vapor de agua que se encuentre presente en el aire que pasa por él.
3. Retener todas las partículas con tamaño inferior a una micra que puedan plantear un problema en los componentes.

El filtro en donde se señalan sus partes se muestra en la figura 14.

Figura 14. Filtro de aire



Fuente: **Programa de fabricación FESTO**. Pág. 10.3-2

1. Cuerpo 2. Cartucho filtrante 3. Tazón plástico 4. Válvula para drenar el agua

El filtro se fabrica principalmente de latón o bronce sinterizado, pero también se usan otros materiales, el espesor del cartucho sinterizado ayuda a proporcionar un paso aleatorio en zigzag para que el aire fluya, lo cual, a su vez, asegurará la retención de las partículas sólidas en ese cartucho, el vapor de agua se condensa en el interior del filtro y se recoge en el fondo del tazón del mismo, el cual está fabricado en su mayor parte de material plástico transparente para facilitar la visibilidad, también es posible separar del aire la mayor parte de las partículas extrañas mas grandes y recogerlas en el fondo del tazón.

Las partículas extrañas más finas restantes se mueven junto con el aire y pasan a través del cartucho, y éstas son retenidas de acuerdo con el tamaño de poro del filtro suministrado según las necesidades de filtración.

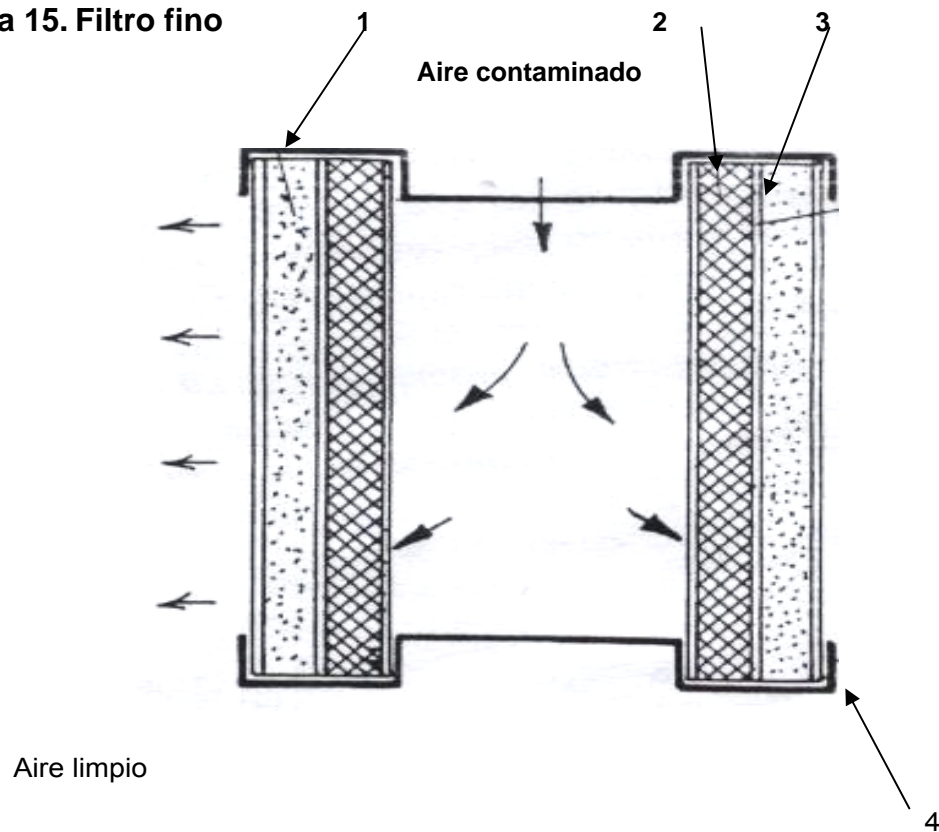
En el fondo del tazón del filtro se tiene una válvula de conexión y desconexión para drenaje, la cual podría abrirse en forma manual para extraer el agua y otras partículas sólidas acumuladas.

Se debe tener cuidado en ver que el filtro no se obstruya de manera excesiva, en cuyo caso se tendrá en el sistema una caída excesiva e indeseable en la presión del aire, para un sistema neumático, la pregunta que se formula con frecuencia es: ¿cuál sería el valor de corte de la filtración?, es difícil dar una respuesta fácil ya que, evidentemente dependerá de las necesidades particulares respectivas del sistema.

Pero un valor promedio de tamaño de 15 a 25 μm de capacidad nominal del filtro puede ser lo más adecuado para las aplicaciones normales en una máquina o equipo no tan crítico.

Para filtrar partículas con tamaños inferiores a una micra, se tiene que utilizar un elemento filtrante del tipo conglutinante fabricado de porcelana, como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Filtro fino



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 67.

1. Material poroso, 2. Material filtrante, por ejemplo lana metálica, 3. Cilindro de acero inoxidable, 4. Soporte

La capacidad nominal del elemento filtrante es el criterio principal de selección, esta capacidad se debe acoplar con las necesidades de todos los componentes corriente abajo, se deben considerar la capacidad de flujo y la presión nominal del filtro, por último el tamaño de la lumbrera se debe acoplar con la tubería del sistema para evitar las caídas innecesarias en la presión a través de adaptadores de restricción, otras selecciones que se hacen para la aplicación son el material del tazón y el tipo de drenaje.

Si se desea tener aire sin aceite ni humedad en lo absoluto, se puede usar un filtro del tipo conglutinante como el de la figura anterior, en la cual se muestra la vista esquemática del elemento filtrante, el medio filtrante se fabrica de lana metálica que se mantiene comprimida en el interior de un cilindro de acero inoxidable, en tanto que el cilindro exterior se fabrica de algún material poroso, por ejemplo, cerámica o borosilicato que tiene la capacidad de absorber las moléculas más finas de aceite, el medio de filtración está alojado en un asiento fabricado de acero inoxidable.

En la tabla I se muestra la cantidad máxima de vapor de agua presente en el aire, a diversas temperaturas.

Tabla I. Contenido máximo de agua en el aire

Temp. del aire, °C	Cantidad de vapor de agua, g/t-m*	Temp. del aire,	Cantidad de vapor de agua, g/cm'
-20	0.88	+35	39.0
-10	2.17	+40	51.1
-5	3.24	+45	65.0
0	4.84	+50	83.0
+5	6.8	+55	104
+10	9.4	+60	130
+15	12.8	+65	161
+20	17.3	+70	198
+25	23.0	+80	293
+30	30.3	+90	424

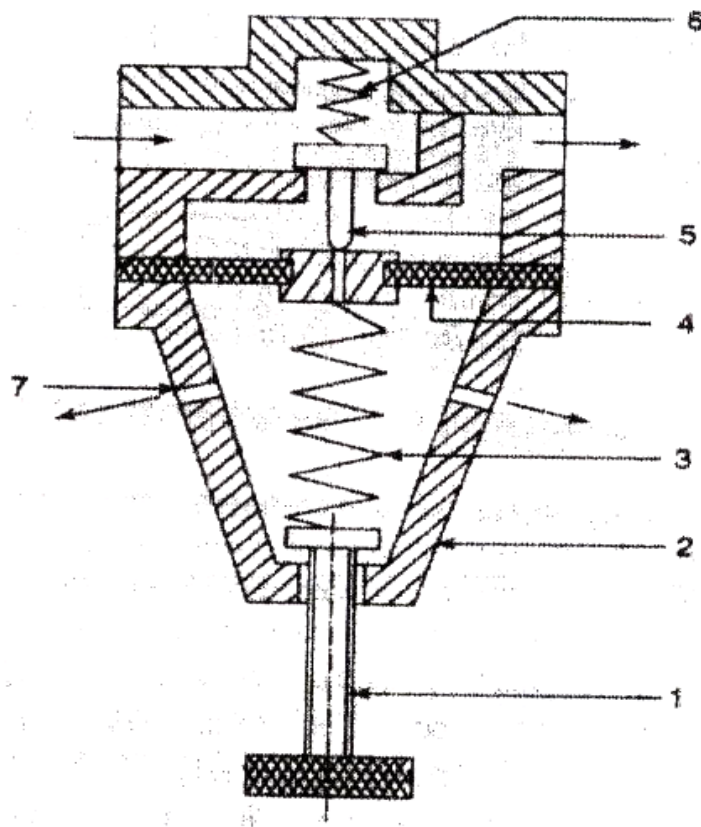
Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 68

2.5.1.2 Regulador de presión

La función principal de esta válvula es regular la presión entrante al sistema, de modo que pueda fluir la presión deseada del aire en una condición estable.

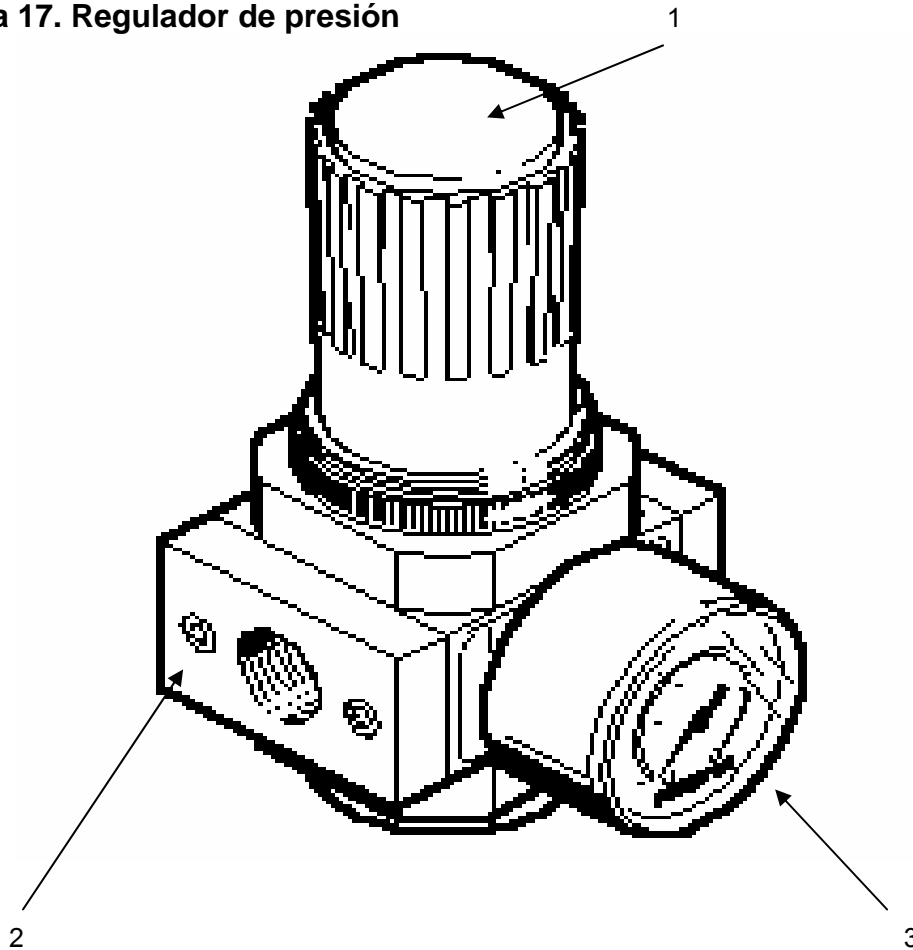
Lo anteriormente expuesto puede mostrarse en la figura 16.

Figura 16. Diagrama esquemático del regulador de presión



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 69
1. Tornillo de ajuste del resorte, 2. Cuerpo, 3. Resorte principal, 4. Diafragma, 5. Válvula, 6. Resorte amortiguador, 7. Agujero de desfogeo

Figura 17. Regulador de presión



Fuente: **Programa de fabricación FESTO**. Pág. 10.1-7
1. Tornillo de ajuste 2. Cuerpo 3. Manómetro

La válvula está compuesta internamente por un cuerpo metálico con dos aberturas, primaria y secundaria, la regulación de la presión se logra al abrir la válvula de disco, con movimiento vertical en una cantidad medida que sea proporcionada con el nivel deseado de la presión que debe lograrse.

Esto se logra por medio de un tornillo ajustable, el tornillo de ajuste moverá el diafragma hacia arriba y de este modo hará que no se asiente el disco, creando en consecuencia una abertura para dejar que el aire fluya del lado primario al secundario.

La abertura de la válvula y por consiguiente la presión del aire que fluye a través de ella serán directamente proporcionales a la compresión del resorte que se encuentra debajo del diafragma.

Entre mayor sea la compresión del resorte, mayor será la magnitud de la abertura y como consecuencia, mayor será la presión y viceversa, de modo que en la práctica real, el regulador de presión tan sólo es una válvula reductora de la presión y tiene una aplicación inmensa en los circuitos neumáticos, para garantizar el nivel deseado de la presión en las diversas partes del sistema.

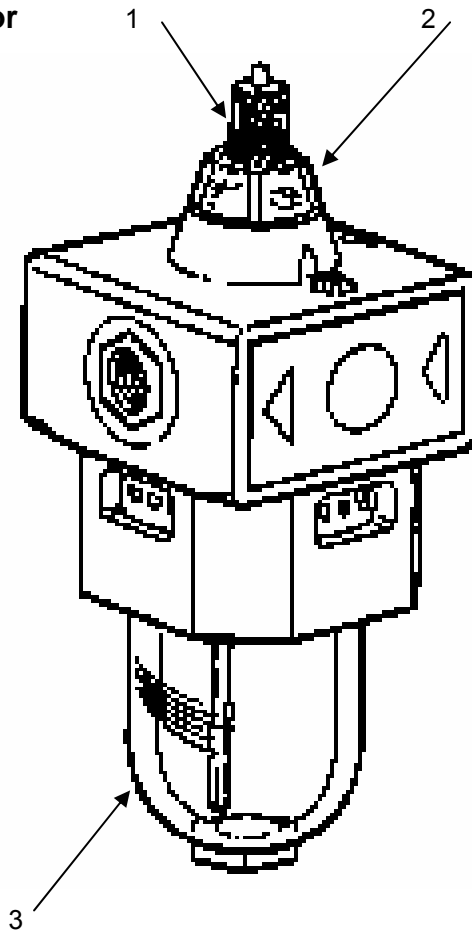
En la mayor parte de los casos, una vez que se fija la presión, no debe modificarse la presión del tornillo y se aprieta la tuerca de seguridad para asegurar un flujo ininterrumpido de aire a la presión deseada, dentro de límites seguros.

El resorte se encuentra al otro lado del disco ayuda a actuar como un dispositivo amortiguador necesario para estabilizar la presión, antes de seleccionar un regulador deben determinarse la presión nominal de admisión y el rango controlado corriente abajo, así como la capacidad del flujo.

2.5.1.3 Lubricador

En la mayor parte de los sistemas neumáticos, en primer lugar se filtra el aire comprimido y en seguida se regula hasta tener la presión específica y se le hace pasar por un lubricador con el fin de formar una neblina de aceite y aire con la única finalidad de proporcionar lubricación a los componentes correlativos de válvulas cilindros, etc. en la figura 18 se muestra un lubricador.

Figura 18. Lubricador



Fuente: **Programa de fabricación FESTO**. Pág. 10.1-1

1. Tubo de goteo de aceite, 2. Cúpula de alimentación visible, 3. Tazón de plástico

Para formar la neblina se usa una unidad lubricadora, todos los lubricadores siguen el principio del medidor venturi.

2.5.1.4 Aceite recomendado para el lubricador de aire

Es muy difícil recomendar los tipos específicos de aceites que deben usarse para el lubricador, sin embargo, se podría hacer un comentario general, sin perjuicio por lo que se refiere a la viscosidad del aceite.

La viscosidad cinemática del aceite del lubricador debe estar dentro del rango de 10 a 50 cSt, a 20 °C, en ciertas aplicaciones, pueden resultar adecuadas marcas comerciales de aceite, digamos, Servospin 12 o Shell Tellus 15 o SAE 10 o aceite especial FESTO.

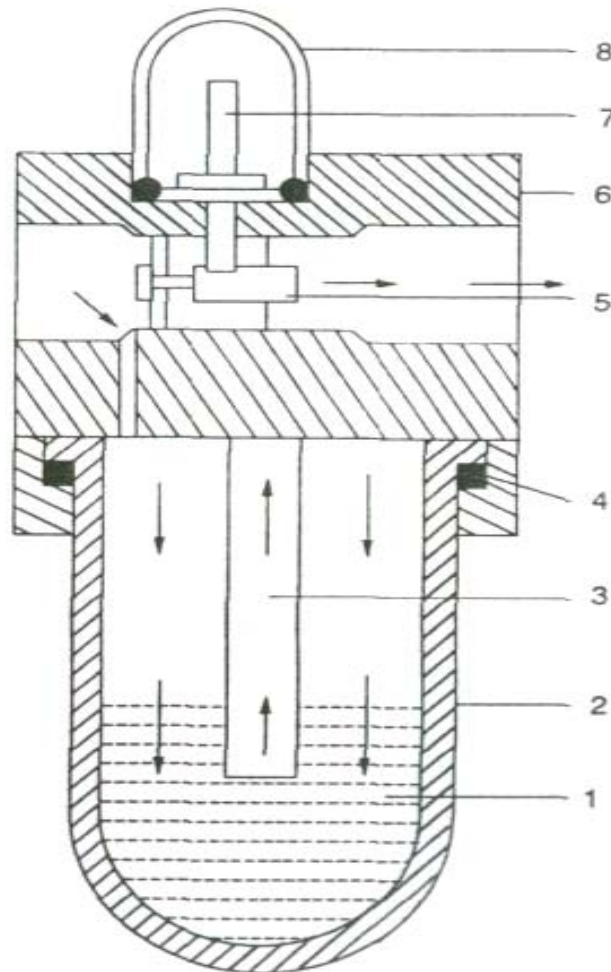
La lubricación intermitente puede ser la peor situación, debido a que la película de aceite puede secarse para formar lodos y barnices sobre las superficies internas.

Los lubricadores de la línea de aire dosifican el aceite que proviene de un depósito hacia la corriente de aire en movimiento, en la terminología general, si las gotitas de aceite arrastradas corriente abajo son relativamente grandes se les menciona como niebla, las gotitas mas pequeñas forman una neblina, los lubricadores del tipo de niebla son los mejores cuando la trayectoria del flujo corriente abajo es recta y corta.

Los lubricadores del tipo neblina se usan cuando el aceite se debe llevar a través de distancias más largas o a través de una trayectoria con obstrucciones, la cantidad de aceite que gotea hacia la cúpula de visión se puede controlar mediante una válvula de aguja, la cantidad de aceite que está siendo succionado hacia el venturi se puede dosificar al hacer variar el área de éste, esto se logra al colocar un disco cargado mediante un resorte, el cual se abre de acuerdo con la presión de admisión.

El aceite del tazón gotea hacia el interior de la zona estrangulada, en donde la velocidad del aire es mucho más alta, y este aire a alta velocidad hace que las gotas se rompan en partículas diminutas, con lo que se forma al final la neblina de aire y aceite, según se explica a continuación, en la figura 19 se muestra un diagrama esquemático de un lubricador.

Figura 19. Esquema de un Lubricador de aceite



Fuente: S.R. Majumdar, **Sistemas neumáticos**. Pág. 73

1. Aceite, 2. Tazón de plástico, 3. Tubo de captación del aceite, 4. Anillo en O ("O-ring"), 5. Válvula limitadora de la capacidad, 6. Cuerpo del lubricador, 7. Tubo de goteo del aceite, 8. Cúpula de alimentación visible.

Se deja pasar el aire comprimido que proviene del regulador por la angosta contracción que se encuentra en el interior del lubricador, de este paso estrecho, se deja fluir el aceite al interior del tazón que contiene el aceite y también hacia el interior de un tubo sifón.

Lentamente se produce una diferencia de presión entre el aire que se encuentra en el sifón y en el tazón, debido a la presencia de la diferencia de presión, de modo natural el aceite es comprimido hacia arriba y pasa a la parte superior del domo de alimentación visible, a través de una válvula controladora del aceite, cuya función principal es controlar la cantidad de aceite que pasa por ella.

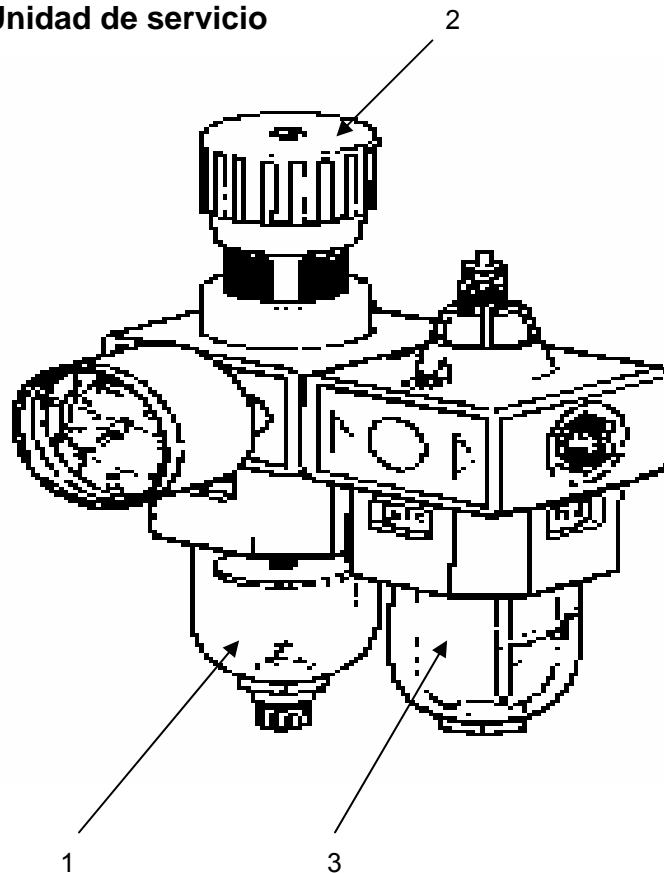
Se forman gotas de aceite para caer en el paso estrechado principal en donde el aire tendrá alta velocidad y en consecuencia se rompen esas gotas para formar una neblina de aire y aceite que fluye hacia el sistema ya que el factor más importante en la formación de la neblina es la calidad de aceite, es decir su viscosidad y la presión del sistema, con alta presión, la película lubricante sobre las partes componentes correlativas pueden quedar sujetas a una intensa fuerza de ruptura con lo que por consiguiente, se necesita un aceite de alta viscosidad, por otra parte se ha observado que los aceites de baja viscosidad forman una neblina mejor y por lo tanto siempre garantizarán una mayor presencia en el aire que la que puede producirse con uno de alta viscosidad.

No obstante como se ha observado que los sistemas neumáticos normales trabajan con fuerza menos intensa, es posible que los aceites ligeros de baja viscosidad sean suficientes para garantizar la lubricidad de la cantidad de aceite agregado es visible a través del domo de alimentación con esta característica y esa cantidad se ajusta con un tornillo.

El cual garantiza que sólo una cantidad predeterminada de aceite fluya con el aire para producir una neblina aceite-aire eficaz y, de este modo, asegurar la lubricación adecuada de los componentes correlativos del sistema.

Las tres unidades en conjunto se mencionan como unidad de filtro, regulador, lubricador (FRL) ó a veces, unidad de servicio, suelen ajustarse en cada una de las estaciones de trabajo neumático, en ciertos casos el filtro y el regulador forman una sola unidad que se nombra como filtro-regulador en combinación en la figura 20 se muestra una vista de la unidad filtro, regulador, lubricador (FRL) en combinación.

Figura 20. Unidad de servicio



Fuente: **Programa de fabricación FESTO**. Pág. 10.1-0
Unidad FRL en combinación: 1. Filtro, 2. Regulador, 3. Lubricador

Refiriéndonos a la figura anterior podemos decir que es una combinación de la unidad de mantenimiento básica, ya que la función del filtro de aire comprimido es retener las partículas de suciedad presentes en el aire comprimido.

El aire comprimido es enriquecido con una niebla de aceite en cantidad dosificable proporcionalmente al caudal de aire. El número de gotas se regula con el tornillo de ajuste. En la práctica bastan de 1 a 12 gotas por cada 1000 litros de aire.

Puede ajustarse un valor presión deseado, que se mantiene en forma estable, antes de que el agua se acumule hasta un nivel máximo, tiene que vaciarse manualmente para evitar que penetre en la instalación, también se provee de un manómetro.

3. USO Y APLICACIONES DEL AIRE COMPRIMIDO EN LA PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE

3.1 Uso y aplicación del aire comprimido en las trefiladoras

La sección de trefilación tiene un total de diez máquinas trefiladoras de las cuales nueve funcionan mecánicamente como se ha explicado en el primer capítulo, cada trefiladora está numerada de la uno a la diez respectivamente en este caso la trefiladora diez utiliza aire comprimido en pequeños sistemas rotativos de alta velocidad.

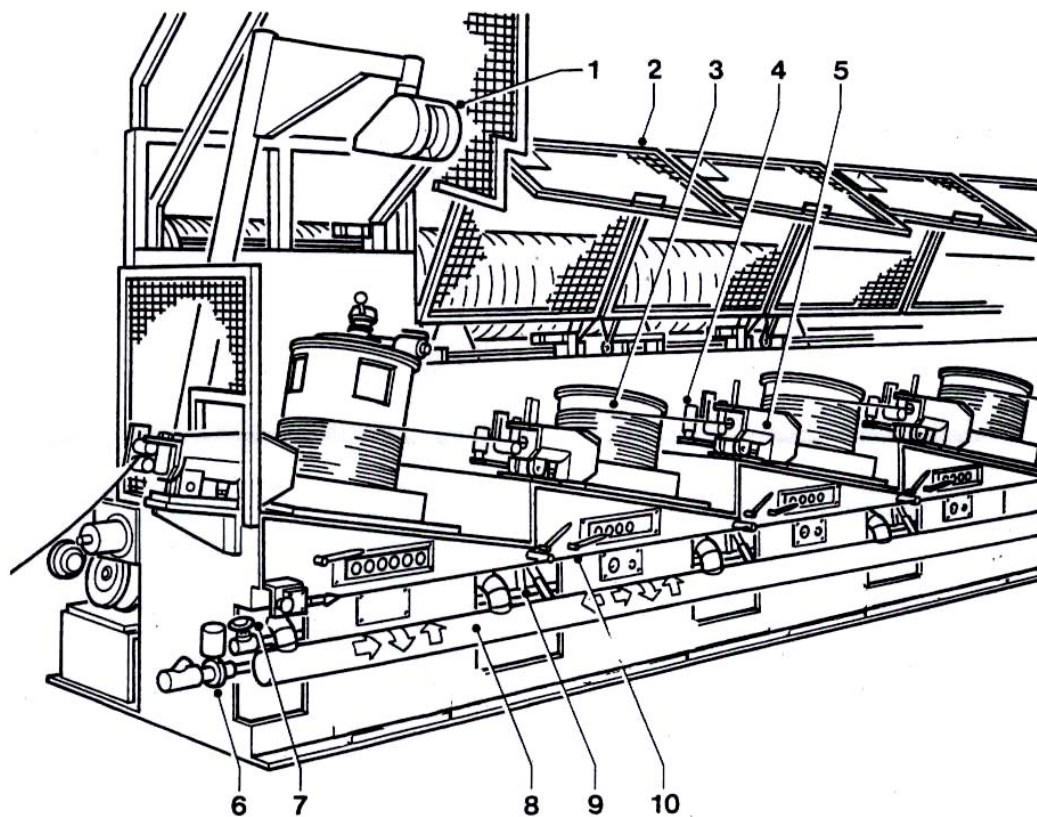
La fuerza neumática también se emplea en numerosas aplicaciones como en nuestro caso en particular en las máquinas trefiladoras ya que tiene un sistema automatizado neumáticamente es decir que todo el proceso de trefilado es llevado a cabo a través de cilindros neumáticos para la producción industrial de alambre trefilado.

Ya que en este caso en particular la máquina funciona con aire comprimido en el proceso de trefilado de alambre y se lleva a cabo mas de un paso de trefilación por lo tanto se les llama trefiladoras múltiples.

Para poder llegar a un diámetro final del alambre es necesario que pase por varios pasos de trefilar, que se puede lograr por medio de bobinas de enrollamiento del alambre que van verticalmente montadas sobre la carcasa de la máquina.

El movimiento hacia las bobinas se transmite a través de motores eléctricos que son activados a través de electroválvulas que dan la señal para que empiece a trabajar el mismo y transmitir el movimiento a través de poleas con sus respectivas fajas y lograr que el alambre se enrolle en cada una de las bobinas, en la figura 21 se muestra una trefiladora y sus partes.

Figura 21. Partes de máquina trefiladora



Fuente: **Manual de máquina trefiladora**. Pág. 5

1. Rodillo de cambio de sentido, 2. Protector de seguridad, 3. Bobina trefiladora, 4. Rodillo tensor, 5. Caja de polvo de dados, 6. Válvula automática, 7. Válvula manual, 8. Drenaje, 9. Entrada de agua, 10. Cordón de emergencia

El aire se utiliza también para el sistema de frenado de las bobinas que a través de una electroválvula manda la señal para el paso de aire hacia una mecanismo que al recibir aire a través de un embolo produce que se presione el disco de la bobina y de esa manera detiene el movimiento de las bobinas.

También se utiliza el aire para la variación de la velocidad de las bobinas ya que cada una cuenta con un regulador de presión que trabaja de cero a veinte psi que va hacia unos cilindro que su función es la de tensar el alambre al llegar a cada bobina de enrollamiento.

Se utiliza aire en los cepillos de la decalaminadora donde va limpiando el alambre que debe ir libre de oxido, polvo, suciedad o cualquier otra aspereza, el alambre debe ir limpio antes de pasar por el primer paso del dado de tugsteno si no va limpio puede causar algún daño al dado que es cuando puede llegar a la tracción del mismo, también se utiliza el aire a través de unos cilindros que son los que accionan las barras de la compuerta de protección de las bobinas para poder accionar la máquina.

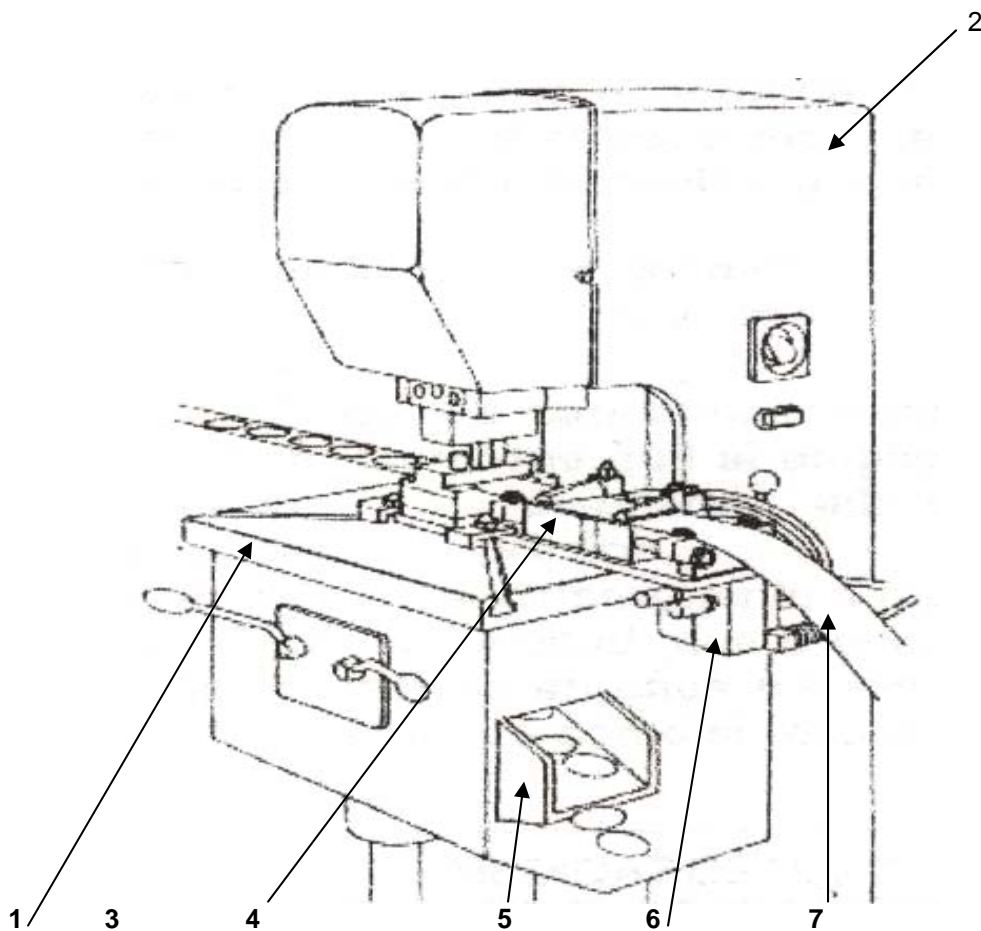
En el Dead Block que es donde hay una bobina donde se hace el ultimo enrollamiento de alambre previo a que sea enrollado en la canasta donde se acumulan el rollo de alambre que se va produciendo por lo que el accionamiento del Dead Block utiliza el aire en lo que es el freno del mismo ya que el aire llega a una electroválvula que manda la señal para que el aire pase hacia un accionamiento donde funciona un embolo que es el que presiona el disco de la bobina y de esta forma se logra que la bobina llegue al reposo.

El Dead Block utiliza aire en un cilindro que acciona el pasador para asegurar la puerta de la misma, se aplica aire através de un cilindro que levanta el brazo de la canasta de descarga de alambre.

3.2 Uso y aplicación del aire comprimido en las troqueladoras

En las máquinas troqueladoras se fabrica la cabeza del clavo para lámina que tiene las siguientes dimensiones 18 mm. de diámetro exterior, 5 mm. de diámetro interior y 1 mm. de espesor la cual va ensamblada a presión en el clavo ya habiendo sido cortado el alambre para el mismo, en la figura 22 se muestra una máquina troqueladora.

Figura 22. Máquina troqueladora



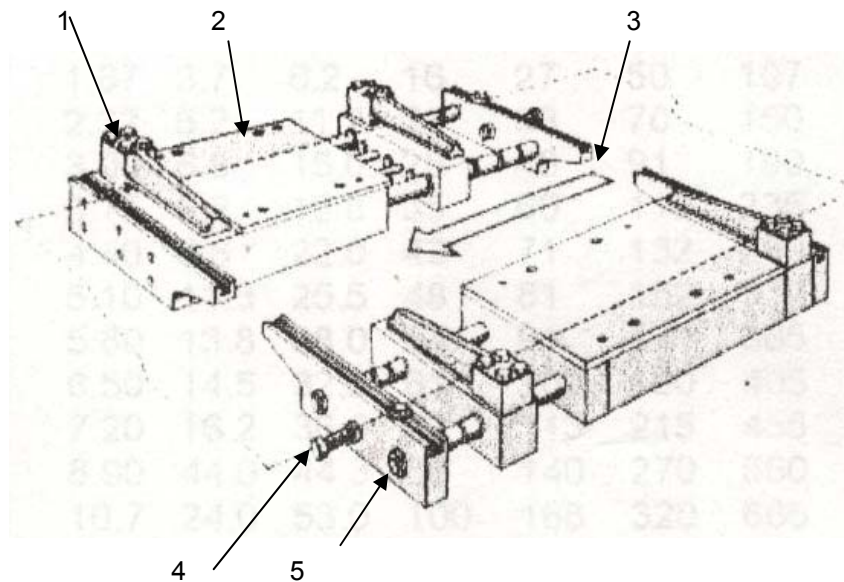
Fuente: **Catálogo de máquina troqueladora**. Pág. 10

1. Bancada, 2. Cuerpo de la troqueladora, 3. Pines de corte, 4. Prensa fleje,
5. Tolva llenadora, 6. Electroválvula de aire comprimido, 7. Lámina o fleje de alimentación

En la planta de clavo y alambre se cuenta con dos máquinas troqueladoras que tienen mecanismos de funcionamiento similares, estas funcionan con aire comprimido y el proceso para fabricar la cabeza del clavo se inicia colocando la materia prima que son flejes o tiras de lamina que vienen en rollos y son colocadas en el devanador que son como una especie de canastas donde se depositan los rollos de fleje o lámina.

La tira de lámina o fleje va siendo jalado por medio de unos sujetadores de distancia que se encuentran en la bancada de la máquina que son accionados por aire comprimido a través de una electroválvula que esta ubicada en la parte inferior de la bancada, da la señal para que pase el aire, en la figura 23 se muestran los sujetadores de distancia que van jalando el fleje ó lámina.

Figura 23. Sujetador de distancia de la lámina o fleje



Fuente: **Catálogo de máquina troqueladora**, Pág. 11

1. Prensa fleje,
2. Sujetador de distancia,
3. Dirección hacia donde se jala el fleje ó lámina,
4. Tornillo de ajuste,
5. Entrada de aire comprimido

Luego que un sujetador jala e introduce el fleje de lámina, el segundo sujetador prensa o detiene el fleje y siempre a través de aire comprimido por una electroválvula que se encuentra en la parte trasera de la troqueladora da la señal para que se accione una polea que tiene movimiento a través de un motor eléctrico, luego se acciona un eje cigüeñal que tiene una excéntrica y a través de este movimiento de rotación hace que se desplacen verticalmente en movimiento ascendente y descendente los pines del troquel, hacen el corte en la lámina.

Los pines del troquel hacen el corte de tres cabezas para clavo en la tira de lámina, ya que el motor eléctrico de la máquina tiene también la función de darle más velocidad a los pines del troquel al hacer el corte, luego de haberse hecho el corte caen las cabezas para clavo en la tolva llenadora ya que la tira de lámina que se va sacando con los agujeros se va enrollando en una devanadora para volver a ser fundida en caliente.

Por lo tanto podemos decir que el aire comprimido entra a su unidad de mantenimiento en la troqueladora que está compuesta por su filtro, regulador, lubricador y luego lo distribuye hacia la polea y los sujetadores de distancia.

Se puede mencionar que cuando hay una falla en el proceso de corte de las cabezas de clavo debido a la falta de suministro de aire comprimido se queda girando el motor eléctrico y se quema la faja o se estira.

Cuando se realiza el mantenimiento a la máquina troqueladora se hace una limpieza general y lo que con más frecuencia se cambia es la electroválvula ya que es la que más tiende a fallar.

3.3 Uso y aplicación del aire comprimido en la rectificadora de dados

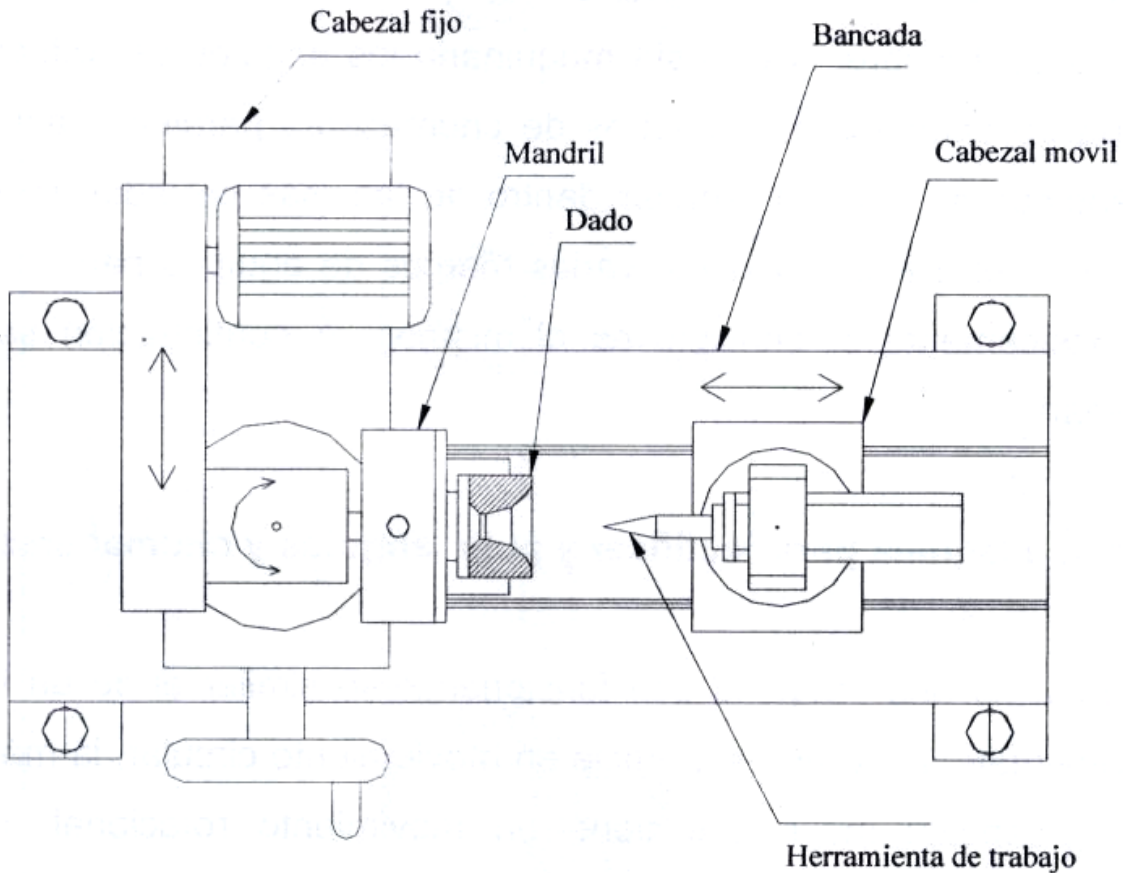
La máquina rectificadora de dados es un equipo moderno que procesa los dados para trefilar el alambión, dicha máquina trabaja automáticamente ya que es de mucha precisión y exactitud en esta máquina se hace el ángulo de reducción cónicos y se les da la medida del diámetro interior al dado de trefilar que esta hecho de tungsteno.

Esta es una máquina con funcionamiento muy parecido al de un torno de metales, el cual remueve material de una superficie en movimiento circular, la máquina cuenta con un cabezal móvil que tiene movimiento rotacional, transversal y longitudinal, en una parte de la maquina se compone del cabezal fijo con un movimiento transversal y circular, que permite trabajar los ángulos de reducción de 0 a 40 grados, cuenta también con un mandril que gira a 250 rpm en contra de las agujas de reloj y sirve para sujetar los dados, se puede trabajar diámetros de 0.5 mm hasta 10.2 mm.

La calibración de los dados puede durar de ocho a diez días, dependiendo de cómo venga la calidad de la materia prima que es alambión importado y viene de distintos países.

La rectificadora cuenta con un sistema automatizado que funciona a través de aire comprimido y sirve para controlar la cantidad de milésimas de milímetro de material a desbastar, también podemos mencionar que tiene un sistema de enfriamiento que es por medio del cual se enfría el dado a desbastar y la herramienta de corte, en la figura 24 se muestra la rectificadora de dados y sus partes.

Figura 24. Máquina rectificadora de dados



Fuente: Publio Fajardo, **Mejoramiento de la productividad**, Pág. 42

El sistema de enfriamiento funciona a través de aire comprimido para verter el líquido refrigerante en la herramienta de corte y el dado de tungsteno a desbastar ya que hay dos mangueras una transporta aire y otra líquido refrigerante y esta mezcla se une en una boquilla antes de llegar hasta la pieza a enfriar al desbastar con el automático.

La forma de preparar el refrigerante se hace vertiendo un galón de agua purificada y aceite soluble en un depósito que se encuentra en la bancada de la rectificadora de dados, al haber hecho la mezcla el líquido refrigerante se vuelve de color blanco.

Por otro lado el aire entra al tanque del depósito de refrigerante, el tanque tiene un regulador de presión del aire que sirve para transportar el refrigerante hacia la pieza a enfriar, puede ser que en tal caso pueda ser necesaria más presión de aire comprimido.

En el depósito debido a que se utiliza agua y aceite soluble que nos da como resultado el refrigerante que es enviado a presión de aire hasta la pieza, se produce sarro dentro del mismo, en el se encuentra un filtro que no permite que ningún elemento producido por el sarro llegue hasta la pieza a enfriar, también hay una llave check que es la que no permite que regrese el refrigerante hacia el depósito cuando ya ha sido enviado a enfriar.

Al estar trabajando la rectificadora de dados, la pieza a desbastar tiende a sacar un polvo que es removido a través de un extractor que funciona a base de aire, podemos mencionar que el mantenimiento a la rectificadora de dados se hace cada quince días y incluye limpieza general.

3.4 Uso y aplicación en las labores generales de mantenimiento

En la actualidad se ha utilizado el aire comprimido en las labores de mantenimiento de la maquinaria de la planta de clavo y alambre.

En lo que se refiere a actividades de mantenimiento las corrientes de aire comprimido son también útiles para transportar otros materiales y pulverizarlos a través de una tobera atomizadora o pistola de pintar, por ejemplo se utiliza para pintar algún componente o equipo con el soplete del aire comprimido por lo que podemos explicar su funcionamiento de la siguiente manera, puede aspirarse pintura y mezclarse con una corriente de aire.

El aire pasa a través de un estrechamiento en un tubo para efecto venturi, donde aumenta su velocidad a la vez que disminuye su presión la pintura se aspira en ese punto, se mezcla con el aire, se vuelve a comprimir dinámicamente y se lanza a través de la pistola de pintar.

En el mantenimiento mecánico se utilizan el aire comprimido para limpiar los depósitos de aceite de las diferentes máquinas, cuando se les cambia el aceite, podemos mencionar por ejemplo la maquina trefiladora uno a la cual se le cambio todo el aceite de la carcasa donde van montadas las bobinas de trefilado por lo que se hizo un lavado y limpieza del depósito con corrientes de aire comprimido y gas corriente con el soplete.

Los motores de aire comprimido se emplean en numerosas herramientas donde se requieren fuerzas intensas de carácter intermitente, como perforadoras neumáticas de concreto más conocidas como rotomartillos, las pistolas de impacto, remachadoras y las engrasadoras.

Otra de las aplicaciones que podemos mencionar son las herramientas de mano donde la fuerza de un motor eléctrico podría ser demasiado grande, como por ejemplo las pistolas empleadas en los talleres de mantenimiento mecánico para apretar o aflojar las tuercas

Otra de sus aplicaciones del aire comprimido en la planta es el de conectar una pistola engrapadora que sirve para el empaque de cartón de lo que son los rollos de alambre espigado.

Se puede utilizar el aire comprimido para enfriar alguna pieza que se haya calentado demasiado al estar trabajando la maquinaria y haya necesidad de desmontarla para realizar alguna reparación que requiera una atención inmediata del departamento mecánico.

Podemos mencionar que en la planta se emplea también el aire en la bocina de emergencia ya que esto se utiliza para alguna emergencia dentro de la planta cuando son requeridos los servicios de una persona del taller mecánico, del taller eléctrico o del taller de soldadura, las personas de cada taller ya saben las veces que debe sonar la bocina para cuando sean requeridos sus servicios dentro de la planta y podemos explicar su funcionamiento de la siguiente manera, se interrumpe un chorro de aire mediante una rueda dentada con 44 dientes que gira a 10 revoluciones por segundo y es lo que produce el sonido.

En el taller de tornos se utiliza el aire comprimido para encender el carbón en la fragua para poder templar las piezas. Al estar apagándose el carbón en la fragua se procede a encenderlo con aire para que el carbón vuelva a arder y se puede llevar a cabo el proceso de tratamiento térmico que regularmente se hace para piezas pequeñas como lo que son engranajes, punzones, cinceles a los cuales se les puede dar un temple superficial.

Al llevar a cabo un tratamiento térmico en piezas grandes para poder enfriarlas se procede a sumergirlas en un depósito de aceite especial para llevar a cabo el tratamiento de recocido pero sucede que al haber ya introducido varias piezas, el aceite se tiende a calentar y su viscosidad tiende a disminuir por lo que se hace necesario enfriar las piezas con aire comprimido, en este caso pueden ser piezas demasiado grandes como los rodillos de enderezar angular y las cuchillas para cortar angular de la sección de perfiles.

4. EVALUACIÓN DEL ACTUAL DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

4.1 Deficiencia de la actual red de aire comprimido

La planta da clavo y alambres cuenta con una distribución de compresores localizados en diferentes áreas de la planta por lo que se hallan operando 4 compresores marca Kellogg-American funcionando uno para cada tipo de máquina ya que los compresores están numerados del uno al cuatro.

El compresor número uno de 20 hp esta localizado en la sección de trefilado, tiene una red de tubería que alimenta la máquina trefiladora número diez, el compresor número dos de 15 hp esta localizado en la sección de espigado, tiene una red de tubería que alimenta las máquinas de clavo, taller de tornos, cuenta con dos bajadas de aire ubicadas en la misma sección de espigado.

Podemos mencionar el compresor número tres de 20 hp que se encuentra localizado en la sección de clavo y tiene una red de tubería que alimenta las dos maquinas troqueladoras y tiene una bajada de aire en el taller de mantenimiento mecánico, podemos mencionar el compresor número cuatro de 7.5 hp que se encuentra localizado a un costado del taller de rectificado de dados, tiene una red de tubería que alimenta con aire la maquina rectificadora de dados. A continuación se muestra en la tabla II los compresores mencionados.

Tabla II. Especificación de los compresores

No. COMPRESOR	MARCA	HP	MODELO	AÑO
1	Kellog American	20	352TV	1975
2	Kellog American	15	352TV	1975
3	Kellog American	20	352TV	1975
4	Kellog American	7.5	332TV	1980

Se hace necesario conocer cuál es la situación actual de la red de aire comprimido, como también la distribución de sus compresores ya que podemos decir que la red actual de aire comprimido tiene aproximadamente veinte años de haberse instalado, tiene algunas deficiencias como un mal diseño de instalación de tuberías sin ninguna base técnica por lo que se da sin tomar en cuenta la pérdida de eficiencia que le causan las mismas, ya que conforme se fue necesitando el fluido de aire se fueron colocando tuberías de distintos diámetros.

Podemos mencionar que se colocaron accesorios innecesarios por lo que ocurren caídas de presión que van en detrimento de fallas en equipos neumáticos, por lo que también debido a la antigüedad de la tubería hay varias fugas en la red principalmente se dan alrededor de los vástagos de las válvulas, conexiones y uniones de mangueras.

Que van a herramientas que están paradas, codos, uniones de tubería, tees y otros accesorios donde se han localizado mediante una inspección visual y física.

Podemos aseverar que las fugas deben ser inaceptables en una red de aire comprimido ya que cuestan dinero, por lo que podemos decir que en una red que ya tiene algunos años como esta los escapes pueden representar entre un 25 a un 30% de la producción total de aire comprimido, según cálculos estimados.

Lo que sucede en la planta de clavo y alambre es que cuando el abastecimiento de aire comprimido es deficiente baja la presión y da como resultado una reducción muy considerable de la potencia de las herramientas neumáticas pues un escape de aire queda reflejado en el manómetro, se puede mencionar que la caída de presión en la planta sucede debido a una gran cantidad de fugas que son una pérdida de aire continua. En la tabla III se muestran las pérdidas de aire libre a una presión de trabajo de 70 y 100 psi.

Tabla III. Cálculo del aire libre desperdiciado

Diámetro estimado mm	Diámetro estimado pulg.	70 psi	100 psi
		Aire libre desperdiciado o m ³ /año	Aire libre desperdiciado m ³ /año
6.350	1/4	741,900	1,010,000
3.175	1/8	185,800	251,600
1.587	1/16	46,400	62,765
0.793	1/32	11,600	15,670

Podemos ver cual es el gasto de energía eléctrica en lo que se refiere a las fugas de aire, en la tabla IV se muestran las horas de operación de cada compresor al año.

Tabla IV. Horas de operación por compresor

No. COMPRESOR	MARCA	HP	MODELO	HORAS/AÑO DE OPERACION
1	Kellog American	20	352TV	7,248
2	Kellog American	15	352TV	7,248
3	Kellog American	20	352TV	7,248
4	Kellog American	7.5	332TV	7,248

Cuando se cuantifica el costo en quetzales de mantener un sistema de producción de aire comprimido con fugas se puede apreciar mejor la cantidad de dinero que se invierte en concepto de energía eléctrica, a continuación se presenta el cálculo del gasto producido por consumo de energía eléctrica desperdiciada en fugas, teóricamente se muestra el cálculo para el compresor uno.

Potencia = 15 kW
 Capacidad = 45 CFM
 Hora al año de operación = 7,248 hrs
 Diámetro de una fuga promedio = 1/32" (0.793 mm)
 Presion de operación = 100 psi

Costo del KWh en Quetzales = 0.85 Q/Kwh.

Se puede apreciar en la tabla III que para una fuga de diámetro de 1/32 “ (0.793mm) la cantidad de aire libre desperdiciado es de 15,670 m³/año.

El costo de la energía desperdiciada en una fuga para el compresor 1 se calcula utilizando la siguiente formula.

$$\text{C.E.F.D.} = \frac{\text{A.L.D.} \times \text{Potencia} \times \text{hrs/año} \times \text{Costo Kwh}}{\text{Capacidad en CFM}}$$

C.E.F.D. = Costo de energía desperdiciada en una fuga

A.L.D. = Aire libre desperdiciado

Procedemos a hacer el cálculo de una fuga para cada compresor:

Compresor uno:

$$\text{C.E.D.F.} = \frac{15,670 \text{ m}^3/\text{año} \times 15 \text{ Kw} \times 7,248 \text{ hrs/año} \times 0.85 \text{ Q / Kwh}}{45 \text{ pie}^3 / \text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}}$$

$$\text{C.E.D.F.} = \text{Q } 2,160 / \text{ año}$$

Compresor dos:

$$\text{C.E.D.F.} = \frac{15,670 \text{ m}^3/\text{año} \times 11 \text{ Kw} \times 7248 \text{ hrs/año} \times 0.85 \text{ Q / Kwh}}{45 \text{ pie}^3 / \text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}}$$

$$\text{C.E.D.F.} = \text{Q } 1,584 / \text{ año}$$

Compresor 3:

Tiene la misma especificación que el compresor uno por lo tanto los calculos son los mismos.

$$\text{C.E.D.F.} = \text{Q } 2,160 / \text{ año}$$

Compresor 4:

$$\text{C.E.D.F.} = \frac{15,670 \text{ m}^3/\text{año} \times 5.6 \text{ Kw} \times 7248 \text{ hrs/año} \times 0.85 \text{ Q / Kwh}}{27.4 \text{ pie}^3 / \text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}}$$

$$27.4 \text{ pie}^3 / \text{min} \times 1 \text{ m}^3/35.28 \text{ pie}^3 \times 60 \text{ min/1 hr} \times 24 \text{ hr /1 día} \times 365/1 \text{ año}$$

$$\text{C.E.D.F.} = \text{Q } 1,324.39 / \text{año}$$

Tenemos el resultado del costo anual que representa una fuga de 1/32” de diámetro para cada compresor instalado en la planta. Se realizó una inspección visual como física en la planta y se pudo determinar que en la distribución de tuberías hay fugas principalmente en las uniones, tees, codos, válvulas, por lo que se llevara a cabo un promedio ponderado de 5 fugas por cada compresor.

Costo anual de operar el compresor uno con 5 fugas = CAOC

CAOC= Costo de una fuga × numero de fugas

$$\text{CAOC} = \text{Q } 2160 \times 5 = \text{Q } 10,800.00$$

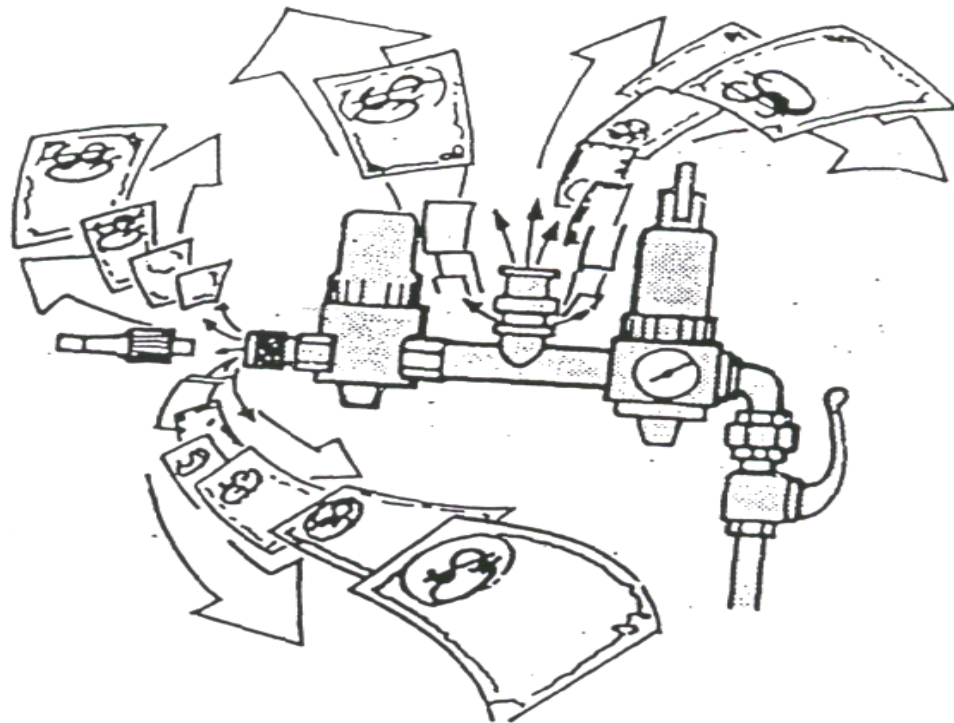
En la tabla V se muestra el costo total de las cinco fugas por año, para cada compresor.

Tabla V. Aire libre desperdiciado

No. Compresor	HP	kW	Horas/año de operación	A.L.D. m ³ /año	C.D.E.F. Q/ AÑO	COSTO TOTAL Q/ AÑO
1	20	15	7,248	15,670	2,160	10,800
2	15	11	7,248	15,670	1,584	7,920
3	20	15	7,248	15,670	2,160	10,800
4	7.5	5.6	7,248	15,670	1,324.39	6,620
TOTAL EN						Q 36,140.00

Tomando en cuenta los calculos teóricos realizados se pudo establecer que la perdida de dinero en concepto de fugas por año es de Q 36,140.00 / año por lo que en la figura 25 podemos ver que las fugas cuestan dinero.

Figura. 25 Las fugas cuestan dinero



Fuente: Ingersoll Rand, **Manual de aire comprimido** Pág. 10

Es responsabilidad del ingeniero de planta conjuntamente con el departamento de mantenimiento mecánico velar porque el suministro de aire comprimido sea utilizado de forma correcta y eliminar cualquier fuga que se presente en la tubería, ya que se debe valorar la grande inversión que se requiere para producir el aire comprimido.

También podemos decir que en la red actual de tubería no hay un sistema de purgas con una inclinación de las tuberías para que en las partes mas bajas se deposite el condensado del agua por lo que esto mismo ha provocado corrosión y desgaste en las tuberías metálicas instaladas que son de tubo galvanizado Hg de media y una pulgada respectivamente y por lo mismo pueden en cualquier instante romperse debido a que ya no son capaces de soportar la presión a la cual se trabaja en la planta por lo cual obliga a realizar labores de mantenimiento correctivo.

Como se menciona anteriormente la planta tiene distribuidos sus compresores en diferentes áreas para satisfacer su demanda de aire comprimido por lo que al estar los compresores trabajando separadamente no cumplen con la demanda del equipo ya que sus redes de distribución se han ido ampliando sin tomar en cuenta que se pierde eficiencia por lo tanto se puede decir que uno de los mayores problemas de la instalación actual de compresores es que no existe una interconexión de los mismos por lo que cualquier demanda superior puede provocar caídas de presión.

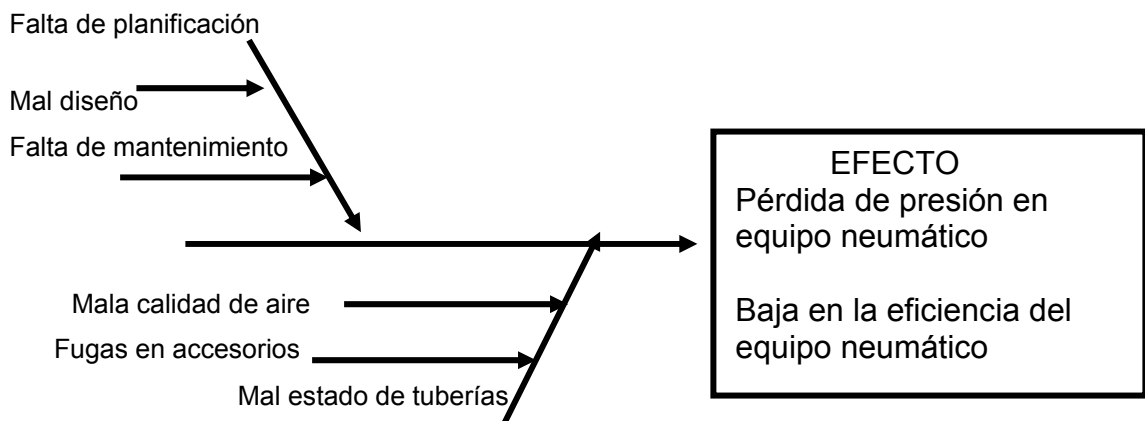
4.2 Causas y efectos en las deficiencias de la actual red de aire

Lo que usual mente sucede en nuestras actividades cotidianas es que siempre tratamos el efecto y no la causa por lo que en este caso en particular vamos a mencionar cuales son las causas de la situación actual de la red de aire comprimido en la planta.

Podemos mencionar las causas que están afectando, una mala distribución de la red de aire comprimido, malas dimensiones de los diámetros de la tubería sin haber tomado en cuenta cual es el caudal que se esta produciendo y si estas son capaces de poderlo transportar a través de las misma tuberías, no existen inclinaciones de tubería para la acumulación de condensado en los puntos mas bajos de la red, accesorios innecesarios, no existe un plan de mantenimiento preventivo para ver cuales son las fallas tanto en la distribución de tuberías como en los compresores, mucha tubería ya es obsoleta ya que tiene varios años de haberse instalado, ya sobre pasó su vida útil.

La causa es todo lo anteriormente mencionado da como resultado un efecto, por lo tanto el efecto se manifiesta en caídas de presión con lo que se pueden aumentar los costos de generación de aire comprimido y por consiguiente puede llegar a disminuir la eficiencia de la maquinaria neumática ya que todo esto se debe a la improvisación en la instalación de algunas líneas de servicio, en la siguiente figura se muestra un diagrama causa efecto para determinar el origen del problema y los factores que intervienen.

Figura 26. Diagrama de causa y efecto



Otro de los efectos que podemos ampliar son las caídas de presión que como ya mencionamos se debe a una inexistente planificación adecuada en la instalación de redes de tubería y compresores ya que las instalaciones se han hecho sin un estudio de la red por lo que hay algunas tomas que se han puesto en lugares no adecuados y accesorios que provocan pérdidas.

Se puede mencionar que el resultado de no contar con purgas necesarias y secado del aire dan como resultado las condensaciones de vapores de agua y aceite que son causa de una serie de inconvenientes tales como:

- Corrosión de las tuberías metálicas
- Entorpecimientos en los accionamientos neumáticos
- Errores de medición en equipos de control
- Obstrucción de boquillas en chorros de aire
- Pintado defectuoso de superficies
- Degradación del poder lubricante de los aceites de engrase
- Oxidación de los órganos internos en los equipos receptores
- Aparición de escarcha en los escapes de las herramientas neumáticas
- Y en general bajo rendimiento de toda la instalación

En el caso de la planta de clavo no usa secadores debido a que el aire que utilizan las maquinas no necesariamente debe ir totalmente seco ya que industrialmente se dispone de varios métodos dependiendo del empleo de cada uno de ellos, de la calidad que deseemos lograr en el aire comprimido.

4.3 Consumo de energía eléctrica con la actual red de aire

La planta esta operando con cuatro compresores reciprocantes marca Kellog-American modelos 352 TV de 20 hp, 352 TV de 15 hp, 352 TV de 20 hp, 332 TV de 7.5 hp.

Los compresores Kellog-American se encuentran operando en la planta de clavo y alambre en el rango de 110-140 psi, en la tabla VI se muestran los HP y Kw, que tiene cada compresor.

Tabla VI. Capacidad en HP y Kw de los compresores

No. COMPRESOR	MARCA	HP	kW.
1	Kellog American	20	15
2	Kellog American	15	11
3	Kellog American	20	15
4	Kellog American	7.5	5.6
		Total 62.5	Total 46.6

Por lo tanto vamos a tener el siguiente cálculo de consumo de energía eléctrica de los cuatro compresores.

$$46.6 \text{ Kw.} * 24 \text{ hr / día} * 26 \text{ días / mes} * 12 \text{ meses / 1 año} = \\ = 348, 940.8 \text{ Kw – hr / año}$$

El precio del Kw – hr para la empresa es de Q. 0.85 centavos por lo que se tiene $348,940.8 * Q. 0.85 = Q. 296,599.68$ de consumo al año.

4.4 Resultado de la evaluación de la actual red de aire

La actual red de aire comprimido tiene bastantes deficiencias como ya se ha mencionado anteriormente que ya tiene varios años de estar funcionando por lo que durante este tiempo de operación no se ha contado con un plan de mantenimiento en toda la red de tuberías en el cual se detecten todas las tuberías que ya tengan algunas fugas como las tuberías que ya hayan sido dañadas debido al óxido y la corrosión que son el resultado de no tener una red de tuberías con un sistema de purgas manuales o automáticas e inclinaciones para el depósito y salida del condensado.

Y esto viene a dañar algún equipo neumático el cual necesita que para su uso según los manuales del fabricante nos dice que el aire antes de llegar a cualquier tipo de equipo neumático debe haber una buena red de aire comprimido con un buen sistema que funcione a base de un tratamiento del aire.

En la actualidad la localización de los compresores de aire se ubican a lo largo de toda la planta ya que sus redes de distribución se han ampliado sin considerar la pérdida de eficiencia que le causan a la misma, ni posibles expansiones futuras de la capacidad de generación.

Por lo tanto el mayor problema de la instalación actual es que no existe una interconexión entre los mismos compresores por lo que cualquier demanda superior puede llegar a causar una caída de presión en el sistema.

Podemos también mencionar que los compresores se encuentran trabajando en diferentes áreas de la planta supliendo individualmente aire a cada maquina por lo que han estado trabajando desde que se instalaron sin ningún plan de mantenimiento preventivo ya que en la actualidad se encuentran trabajando prácticamente con mantenimiento correctivo ya que cuando uno de ellos falla se llama a los mecánicos de mantenimiento que trabajan en toda la empresa por lo que no hay personas que se encuentren directamente encargadas en la planta de clavos y alambre que estén al tanto del buen funcionamiento de los compresores.

4.5 Propuesta a la evaluación de la actual red de aire

Como resultado de haber observado y analizado la situación actual de la red de aire comprimido de la planta de clavos y alambre podemos mencionar que es de vital importancia poder hacer un mejoramiento de la red de aire comprimido lo cual implica hacer un estudio de cual es la demanda de aire comprimido en la planta como también podemos tener en cuenta la cantidad de aire comprimido que nos producen los cuatro compresores.

Por lo tanto podemos decir que en base a dichos resultados podemos ya tener una base para una mejora en la red de aire comprimido en la cual se tenga que hacer un cambio total de toda la red de tubería es decir ir hacia una mejora continua, con lo cual se va hacer una reestructuración completa de la red, que conlleva hacer una inversión económica, que va eliminar totalmente el mal estado de la tubería.

Como también podemos mencionar en el centralizado de la generación de aire comprimido que dará como resultado que todas las herramientas y equipo neumático reciban la presión de aire adecuada, como también nos dará la prioridad que el taller de mantenimiento por medio de los mecánicos de mantenimiento de la planta ayuden a evitar perdidas de aire llevando a cabo las labores de mantenimiento programadas.

Al llevar a cabo la reestructuración tanto de la red de aire como el centralizado de los compresores en el cual se ubicaran los compresores en una sala para los mismos, por lo que se deberá tener el control sobre los costos de mantenimiento, reparaciones y consumo de electricidad para cada compresor, se deberán llevar las especificaciones del fabricante para un mantenimiento de rutina para llevar a cabo labores generales como drenar los tanques, cambios de aceite y filtros de los compresores.

Un sistema centralizado necesita una reubicación de los compresores actualmente instalados los cuales se encuentran instalados en diferentes áreas de la planta y una interconexión de los mismos, con lo cual se podrá llevar a cabo la ampliación de la capacidad de producción de aire comprimido, suministrando un caudal y presión constantes y además permitirá la facilidad de ampliaciones futuras que sean realmente eficientes y permitan que la planta se mantenga al ritmo de una mejora en la producción de aire comprimido.

El diseño de un sistema centralizado se basa en la instalación de varios compresores en una sola ubicación, trabajando en serie y en conjunto con el fin de satisfacer una demanda de caudal de aire comprimido y evitar con ello las pérdidas perjudiciales de presión.

Al llevar a cabo dicho proyecto se tendrá la plena certeza de que en el nuevo sistema de aire comprimido se deberán tratar los contaminantes del aire comprimido, como el agua, aceite y polvo que dañan las herramientas es decir arruina el equipo neumático.

Como resultado de la propuesta a la evaluación podemos mencionar que con el mejoramiento de la red de aire comprimido y centralizado de compresores se garantizará el servicio de la maquinaria y equipo que utiliza aire comprimido en la planta de clavo y alambre, ya que también repercutirá en la disminución de tiempos muertos debido a paros en la maquinaria por falta de suministro de aire comprimido, que conlleva a realizar mantenimiento correctivo por lo que al llevar a cabo dicho mejoramiento se podrá ver una mejora y eficiencia en el equipo y herramientas debido a que se disminuirán las caídas de presión, y todo esto repercute en el mejoramiento de la productividad de la planta de clavo y alambre.

5. REDISEÑO DE LA INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO

Antes de iniciar el proyecto de una instalación de aire comprimido tenemos la responsabilidad de plantearnos seriamente cómo tendrá que ser el aire que suministremos a la instalación, ya que obviamente estará en función del tipo de industria que vayamos a estudiar en nuestro caso en particular una planta de clavo y alambre, para poder decidir al respecto, debido a las características de los compresores, el tratamiento del aire y la selección de los demás elementos que formarán parte del conjunto global de la instalación.

5.1 Cálculo de la demanda de flujo de aire existente en la planta

En condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo comprendida entre 6 y 7 bar en la misma herramienta o en el mismo equipo neumático.

Debemos de comprender que no es lo mismo la presión de aire en el compresor que la presión del aire en el puesto de aplicación, normalmente la presión de descarga final o presión de trabajo en los compresores es de 7 bar, pero debemos de tener presente que entre el grupo de compresores y el sitio de aplicación, donde la neumática ha de prestar servicio, se encuentra un depósito de aire, las unidades de mantenimiento, acoplamientos en la tubería, filtros, mangueras, conexiones y una vasta red de tuberías que distribuyen el aire por toda la planta, que impiden que toda la energía de presión se transmita íntegramente a la máquina cuyo fin es utilizarla.

Para poder llevar a cabo el cálculo de la demanda real de aire comprimido que existe en la planta de clavo y alambre debemos de conocer los siguientes conceptos.

- **Consumo específico.** Se llama consumo específico de una herramienta o equipo al consumo de aire requerido para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el manual del fabricante se expresa en aire libre (lit/min, m³/min, pie³/min).
- **Coefficiente de utilización.** Es la determinación de la capacidad del compresor necesaria para alimentar una herramienta, máquina o un grupo de accionamientos neumáticos, intervienen aparte del consumo específico del aparato, el tiempo que el componente neumático está parado por la índole de su trabajo, este margen de operación intermitente, o factor de servicio, se denomina coeficiente de utilización y varía conforme el uso de cada herramienta, máquina o accionamiento.
- **Coefficiente de simultaneidad.** Cuando hay en funcionamiento diversas herramientas o en general, todos los equipos que integran una industria, el promedio de los coeficientes de utilización de cada una de ellas nos dará una cifra denominada coeficiente de simultaneidad, se da una cifra global para todo el conjunto de equipos de la planta de clavo y alambre.

Para iniciar con el cálculo de la demanda de flujo de aire existente en la planta de clavo y alambre empezaremos por sacar un listado de las necesidades de aire comprimido que tendremos en la planta. Estableceremos la relación de las máquinas neumáticas tomando en cuenta sus consumos individuales de aire (consumo específico) en Pie³/ min.

En lo que respecta a la máquina trefiladora número diez funciona con cilindros neumáticos, en algunas ocasiones se encuentra el caudal de aire que utiliza cada máquina en los manuales del fabricante o catálogos pero en el caso de las máquinas que utilizan cilindros neumáticos deberá calcularse el flujo de aire necesario.

Los cilindros neumáticos son los que se utilizan para los movimientos que realiza la máquina trefiladora diez y para calcular el flujo de aire, se calcula primero la demanda o consumo de cada cilindro y este valor se multiplica por el número de cilindros iguales que tenga, si se utilizan cilindros de diferentes medidas, la demanda de aire será la sumatoria del consumo de los mismos. Para obtener la demanda unitaria de cada cilindro se debe conocer la siguiente información:

- **Cálculo de ciclos por minuto**

Es la cantidad de veces que efectúa trabajo el cilindro es decir (salida-entrada), en un minuto y se expresa en (ciclos/min.).

- **Características y medidas de los cilindros neumáticos**

Las dimensiones de los cilindros si son de simple o doble efecto pueden ser:

A = Diámetro del cilindro (mm)

B = Longitud del cilindro (mm)

C = Diámetro del embolo (mm)

S = Longitud de la carrera (cm)

- **Cálculo del consumo de aire en los cilindros neumáticos**

Conociendo el diámetro del cilindro, la longitud de la carrera, el número de carreras o ciclos por minuto y la presión de trabajo se hace el cálculo del consumo de aire para cada uno de los cilindros.

a) Para cilindros de simple efecto se debe utilizar la formula

$$Q = s \times n \times q \text{ (litros/minuto)}$$

b) Para cilindros de doble efecto se debe utilizar la formula

$$Q = 2(s \times n \times q) \text{ (litros/minuto)}$$

Para poder obtener la conversión de litros/minuto a Pie³/minuto es necesario hacer la conversión por lo que tomamos el valor equivalente de litros a pie cúbico que es 1 pie³ = 28.32 litros, por lo que dividimos el resultado que nos de en la formula dentro de 28.32. En las dos formulas anteriores el significado de cada variable es:

Q = Consumo del aire total en litros/min. (Demanda)

q = Consumo de aire del cilindro neumático por cada centímetro de carrera expresado en litros/ cm; se obtiene en la tabla VII.

n = Número de carreras por minuto (ciclos/min)

s = Carrera en centímetros

Para realizar el cálculo es necesario determinar el valor de q el cual se obtiene de la tabla VII, el valor se encuentra conociendo la presión de trabajo y el diámetro del cilindro, al no encontrar un valor exacto de estas variables se deberá interpolar.

Tabla VII. Demanda en CFM de los cilindros neumáticos

PRESIÓN DE TRABAJO EN bar y en (P.S.I.)												
bar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P.S.I	14.5	29.0	43.5	58.0	72.5	87.0	101.5	116.0	130.5	145.0	159.5	174.0
Diámetro del cilindro (mm)	Consumo de aire en litros por centímetro de carrera del cilindro											
6	0.005	0.008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.0220	0.0025	0.0027	0.0300	0.0033	0.0036
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014
16	0.004	0.006	0.008	0.010	0.011	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026
25	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062
35	0.019	0.028	0.038	0.047	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.121
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.110	0.122	0.135	0.146	0.157
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210	0.229	0.248
70	0.076	0.113	0.150	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.448	0.485
100	0.155	0.231	0.307	0.383	0.459	0.535	0.611	0.687	0.763	0.839	0.915	0.991
140	0.303	0.452	0.601	0.750	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.660	3.964
250	0.966	1.441	1.916	2.392	2.867	3.342	3.817	4.292	4.768	5.243	5.718	6.193

Fuente: Enrique Carnicer, **Aire comprimido**. Pág. 202

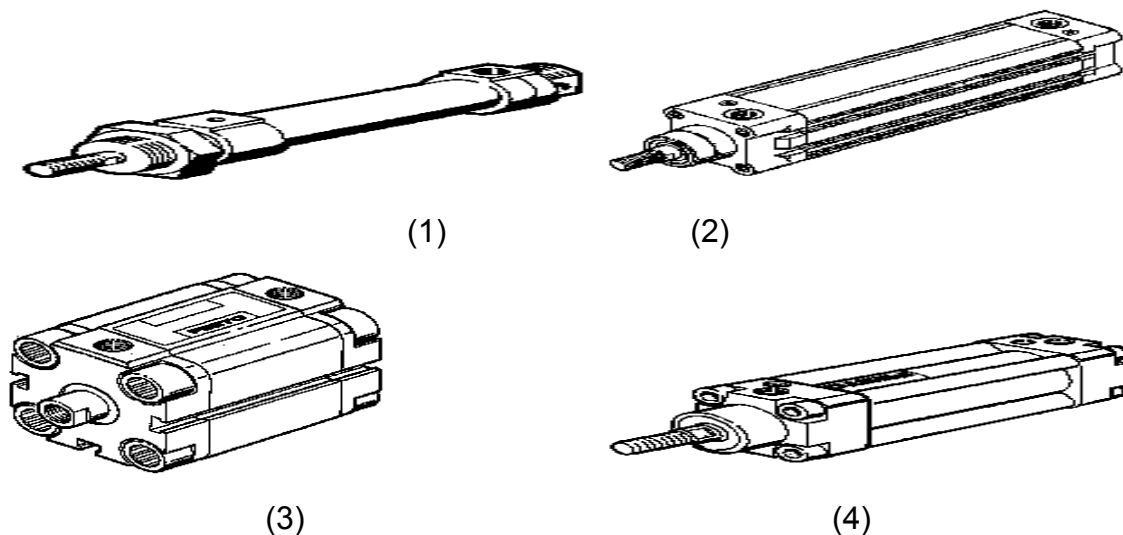
Como ya se ha mencionado, la trefiladora diez es compleja y funciona a base de cilindros neumáticos, los cilindros sirven para llevar a cabo todos los movimientos que realiza la máquina para el proceso del trefilado del alambre, a continuación podemos ver la tabla VIII con la especificación de los cilindros neumáticos que se utilizan en dicha máquina.

Tabla VIII. Especificación de cilindros de trefiladora diez

Descripción del cilindro	Equipo donde se utiliza	Cantidad
Cilindro ESN-25-25-P	Tensores de alambre	7
Cilindro DNC-125-200-PPV-A	Dead Block	1
Cilindro ADVU-25-50-P-A	Decapador Mecánico	1
Cilindro DNU-50-250-PPV-A	Brazo del Dead Block	1

En la figura 27 se muestran los cilindros neumáticos de la trefiladora diez.

Figura. 27 Cilindros de trefiladora diez



Fuente: **Catálogo Festo**, Pág. 12

1. Cilindro Tensor de alambre, 2. Cilindro del Dead Block, 3. Cilindro del decapador mecánico, 4. Cilindro del brazo del Dead Block

Se procederá a hacer el cálculo como ejemplo del cilindro número uno de la figura anterior, que es el cilindro tensor de alambre de la máquina trefiladora diez las medidas de su diámetro, carrera, presión y número de ciclos son los siguientes.

$$A = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm}$$

$$S = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm}$$

$$P = 6 \text{ bar}$$

$$n = 55 \text{ ciclos/ min}$$

El valor q se obtiene de la tabla VII, donde se debe buscar la intersección de los datos con presión de 6 bar y el diámetro del cilindro (25 mm), al hacer la intersección en la tabla para dichos valores tenemos el valor de $q = 0.033 \text{ lit/cm}$, entonces procederemos a calcular con la fórmula de caudal para este cilindro.

$$Q = 2(s \times n \times q) \quad (\text{litros/ minuto})$$

Donde:

$$q = 0.033 \text{ lit/ cm}$$

$$n = 55 \text{ ciclos/ min}$$

$$s = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm}$$

$$Q = 2(2.5 \text{ cm} \times 55 \text{ ciclos/minuto} \times 0.033 \text{ litros/cm}) = 9.075 \text{ lit/ min}$$

Necesitamos hacer la conversión de lit/min a pie^3/min entonces decimos que $1 \text{ m}^3 = 28.32 \text{ pie}^3$ por lo tanto dividimos lit/ min por esta cantidad.

$$9.075/28.32 = 0.320 \text{ Pie}^3/\text{min}$$

Para poder encontrar el total de caudal en CFM se multiplica el número de cilindro en este caso son 7 y obtenemos:

$$0.320 \times 7 = 2.24 \text{ Pie}^3/\text{ min.}$$

En la tabla IX se muestran el total de los CFM de los cilindros con sus respectivas carreras y diámetros de la trefiladora diez.

Tabla IX. Total de CFM de los cilindros de trefiladora diez

Cantidad cilindros	Equipo donde se utiliza	carrera mm S	Diámetro mm A	CFM unitario Pie³/ min	CFM TOTAL Pie³/ min
7	Tensor de alambre	25	25	0.320	2.24
1	Dead Block	200	125	14.40	14.40
1	Decapador mecánico	25	50	0.58	0.58
1	Brazo del Dead Block	250	50	2.83	2.83
Total CFM requeridos					20.05

Tenemos que el consumo específico de todos los cilindros de la trefiladora diez es de 20.05 Pie³/ min. En la planta de clavo y alambre aparte de la trefiladora diez hay más equipos que utilizan aire comprimido por lo que podemos mencionar, las máquinas de clavo, las troqueladoras, la rectificadora de dados, las engrapadoras, y los demás usos que se hacen en labores generales de mantenimiento mecánico, en la tabla X se muestran los consumos específicos de cada equipo, algunos datos fueron tomados de tablas y manuales de fabricante, también se tomaron valores estimados debido a que no había ninguna información del equipo.

Tabla X. Consumo específico de los equipos de la planta

Sección, taller	Tipo de máquina	Cantidad	Consumo específico Pie³/min	Consumo específico total Pie³/min
Trefilación	Trefiladora 10	1	20.05	20.05
Clavo	Máquinas de clavo	8	3.75	30
Clavo	Troqueladoras 1,2	2	15	30
Espigado	Engrapadoras	2	5	10
Mantenimiento	Cinceladores	1	17	17
Mantenimiento	Pistolas de pintar	1	5	5
Taller mecánico	Uso general	1	5	5
Taller de dados	Rectificadora de dados	1	19	19
Taller de tornos	Tratamientos térmicos	1	16	16
Total CFM				157.05

Es decir que el consumo específico de aire libre que tenemos a una presión de trabajo de 6 a 7 bar es 157.05 Pie³/min. Sin embargo, este dato en absoluto no es real, cada herramienta tiene un tiempo de inactividad, según la índole de su trabajo, que se le llama coeficiente de utilización.

Multiplicando este coeficiente de utilización por el consumo total de cada herramienta nos dará el consumo real, y hallando el promedio ponderado de los coeficientes de utilización se tendrá el coeficiente de simultaneidad de la utilización del aire comprimido en la planta lo anteriormente expuesto se muestra en la tabla XI.

Tabla XI. Consumo total de los equipos de la planta

Sección, taller	Tipo de máquina	Consumo específico Total Pie³/min	Coeficiente de utilización	Total CFM
Trefilación	Trefiladora 10	20.05	95%	19.04
Clavo	Máquinas de clavo	30	95%	28.5
Clavo	Troqueladoras 1,2	30	95%	28.50
Espigado	Engrapadoras	10	75%	7.5
Mantenimiento	Pistolas de pintar	5	25%	1.25
Mantenimiento	Cinceladores	17	25%	4.25
Taller mecánico	Uso general	5	25%	1.25
Taller de dados	Rectificadora de dados	19	95%	18.05
Taller de tornos	Tratamientos térmicos	16	50%	8
Total CFM				116.34

Haciendo el promedio del coeficiente de utilización:

$(95\%+95\%+95\%+95\%+25\%+25\%+75\%+25\%+95\%+50\%)/10 = 67\%$, nos da un coeficiente de simultaneidad del 67%, para toda la planta se tiene:

$$116.34 \times 0.67 = 77.94 \text{ CFM}$$

Por lo que respecta a la capacidad de los compresores, hay que partir del consumo total de la planta, al cual habrá que añadir un 10% por pérdida de aire admisible por fugas, un 10% por errores en los calculos, así como sumarle un 30% para prever posibles ampliaciones.

Consumo de aire de toda la planta	77.94 CFM
10% Perdidas por fugas	7.79 CFM
10% errores en calculos	7.79 CFM
30% Ampliaciones	<u>23.38 CFM</u>
Suma	116.9 CFM

Es decir que el compresor o grupo de compresores, debe cubrir como mínimo los 116.9 Pie³/ min a una presión de trabajo de 7 bar.

5.2 Cálculo de la tubería para la red de distribución

Para el transporte de aire comprimido desde la central de compresores hasta los lugares de utilización se emplea una red de conducciones conocidas bajo el nombre genérico de tuberías. Se pueden considerar tres tipos de tuberías:

- **Tubería principal.** Se denomina tubería principal a la línea de aire que sale del depósito y canaliza la totalidad del caudal de aire, debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad en cuanto a posteriores crecimientos de la planta.

- **Tuberías secundarias.** Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las zonas de trabajo, y de las cuales salen las tuberías de servicio. El caudal de aire que transportan será el correspondiente a la suma de los caudales parciales que de ella se deriven, al mismo tiempo, es conveniente pensar en alguna futura ampliación al calcular su diámetro, la velocidad máxima del aire es de 8 m/seg.
- **Tuberías de servicio.** Son las que alimentan a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación, llevan los acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire, las unidades de servicio filtro, regulador, lubricador. Las tuberías de servicio se requieren dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas, se deben evitar instalar tuberías de servicio inferiores a $\frac{1}{2}$ pulgada de diámetro, ya que si el aire está sucio puede taponarlas.

En el caso de la planta de clavo y alambre procederemos a hacer el cálculo de el total de tubería que necesita para poder hacer el nuevo diseño de la red de aire comprimido.

La red de distribución en la planta de clavo y alambre nos da una longitud total del punto inicial hasta el punto final de 200 metros de tubería principal de 2", se tendrá que contar también con tubería secundaria y de servicio que es la que llega directamente a las máquinas o puntos de utilización de la herramienta y equipo para darnos un total de 96 metros de longitud de tubería de 1".

Debemos tomar en cuenta que la instalación es un circuito cerrado con un caudal demandado por la maquinaria y el equipo es de 116.9 CFM con una presión de trabajo máxima de 7 bar es decir 110 lb/ Pulg.², la tubería por costos facilidad de instalación y durabilidad es galvanizada, el sellado de las uniones roscadas de tuberías y la instalación de accesorios se lleva a cabo con una cinta teflón que es a su vez es flexible y evita que hallan fugas de aire. En la tabla XII se muestra el total de tubería para el nuevo diseño de la red de aire comprimido.

Tabla XII. Descripciones de la tubería

Descripción	Cantidad de tubos	Diámetro	Longitud estándar	Longitud total de tubería
Tubo galvanizado	35	2 Pulgadas	6 metros	210 metros
Tubo galvanizado	16	1 Pulgada	6 metros	96 metros

5.3 Cálculo del diámetro de la tubería

El cálculo consiste principalmente en determinar el diámetro de la tubería que se utilizara en el rediseño de la red para poder cumplir con la demanda de aire requerida por los equipos de la planta, es importante calcular el diámetro óptimo ya que debe ser capaz de transportar el caudal de aire necesario. Las tuberías para aire comprimido deben estar ampliamente dimensionadas para prever posibles ampliaciones. Desde el punto de vista del uso que se le vaya a dar no existe ningún riesgo en que una tubería quede sobredimensionada.

La caída de presión será menor y la tubería intervendrá como depósito de aire. El costo adicional como consecuencia de cierto agrandamiento de la dimensión es insignificante comparado con los gastos que pueden generarse si la red de tubería ha de renovarse al cabo de algún tiempo, en la tabla XIII se presentan los valores de caudales, con valores de presión y sus respectivos diámetros de tubería para caídas de presión del 10% y 5%.

Tabla XIII. Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería

presión Psi	Diámetro de tubería pulgadas											
	Caída de presión 10%				Caída de presión 5%							
	1/8"	1/4"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1-1/4"	1-1/2"	2"	2-1/2"	3"	4"
Caudales en CFM												
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	1100	1500
60	3.5	8	18	34	50	93	195	290	560	900	1600	2050
80	4.7	10.5	23	44	65	120	255	380	720	1200	2100	2800
100	5.8	13	29	54	80	150	315	470	900	1450	2600	3500
110	6.3	14.4	31.5	59.2	87	164	344	512	990	1600	2860	3800
150	8.6	20	41	80	115	220	460	680	1350	2200	3900	5200

Fuente: **Fundamentos de aire comprimido**, Atlas Copco, Pág. 92

Para el cálculo del diámetro de la tubería principal que debemos tener en la red de aire comprimido, debemos de saber que caudal de aire necesitamos transportar, en toda la red por lo que tenemos que en la maquinaria y equipo de la planta de clavo y alambre demanda un caudal de 116.9 CFM por lo que procederemos a calcular el diámetro según la tabla XIII.

Si tenemos que la maquinaria trabaja a una presión de 110 Psi con una caída de presión de un 5% por cada 100 pies de longitud de tubería, con un caudal de 116.9 CFM, tendremos según la tabla XIII, un diámetro de 1 pulgada, pero tomando en cuenta posibles ampliaciones tomaremos una tubería principal con un diámetro de 2 pulgadas y tuberías secundarias y de servicio con un diámetro de 1 pulgada que serán las bajadas que alimentarán directamente la maquinaria y equipo.

5.4 Cálculo del tipo de soportes y sus distancias

Las tuberías tienen que ser sostenidas entre los puntos que conectan, se emplean soportes con sus abrazaderas, para el espaciamiento entre soportes se considera el tubo como una viga simplemente apoyada con una carga uniforme distribuida la cual estará formada por el propio peso del tubo y su contenido en nuestro caso el aire.

La tubería de aire debe soportarse a intervalos adecuados, para evitar flexiones que acumularían condensado que podría provocar una reducción de drenado en los puntos más bajos, la distancia que habrá entre los soportes va a depender en algunos casos de las condiciones del edificio en la planta de clavo y alambre la distancia entre columnas es de 5 y 6 metros por lo tanto los soportes de la tubería tendrán que ser instalados a esta distancia.

El tipo de soportes que se tendrán que utilizar tienen una forma de escuadras con su respectivo refuerzo, tendrán que ser fabricados con angular de 1 pulgada y una abrazadera que sujeta el tubo, va soldada entre el soporte y el tubo galvanizado de 2 pulgadas, en total se tendrán que hacer 35 soportes para un total de 26.25 metros de angular de 1 pulgada.

5.5 Cálculo de la pendiente del circuito de aire

Como norma se debe colocar una inclinación en la tubería aproximadamente de un centímetro por cada dos metros de tubería en el sentido del flujo del aire, en el caso de la planta de clavo y alambre se tienen las siguientes dimensiones de la nave principal donde va ir tendida la tubería, 48 metros de longitud para una inclinación en dirección del flujo de 24 centímetros y un ancho de 35 metros para una inclinación de 17.5 centímetros par tener un punto mas alto de 6 metros de altura y un punto mas bajo de 5.58 metros de altura respecto al piso.

Las tuberías principales deben ser ampliamente dimensionadas para poder atender la demanda de aire sin perdida excesiva de presión y estar ligeramente inclinadas, a fin de que el agua que se condense, drene en la misma dirección que tiene el aire comprimido, colocando en el extremo de la tubería un ramal de bajada provisto de una purga manual o automática para evacuar el agua acumulada.

Además las tomas o conexiones de aire comprimido para los servicios, deben hacerse por la parte superior de la tubería de distribución, con el propósito de extraer el aire seco (sin condensado) y evitar posibles acumulaciones del agua en los equipos y por lo tanto, daños a los sistemas (incluyendo equipos), reducción de la vida útil de los mismos y aumento de los costos de mantenimiento.

5.6 Cálculo del depósito del almacenamiento de aire

En las instalaciones centralizadas, el gasto de aire comprimido se realiza en varios puntos y por lo general, de forma intermitente y no uniforme, dependiendo de las necesidades de utilización. Sucede que en un determinado momento se necesite una gran cantidad de aire comprimido a la presión normal de distribución, normalmente sería necesario poner en marcha el compresor y esperar que la red de distribución éste completamente a la presión demandada, para evitar este inconveniente se instala un depósito a la salida del compresor que debe estar dimensionado de acuerdo con el máximo caudal instantáneo de la instalación.

Los depósitos son fabricados de chapa de acero y están regulados según la norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*), para recipientes a presión, pueden situarse en puntos cercanos a los compresores, pueden instalarse al aire libre para facilitar el enfriamiento del aire antes de su paso a las tuberías principales de distribución, el depósito mas perfecto y mejor situado es el que enfría el aire a temperatura ambiente.

Ventajas al instalar un depósito de aire:

- Reducen los efectos de pulsación en los compresores reciprocantes, con lo que regulariza el trabajo de las máquinas accionadas con aire comprimido.
- Siendo la capacidad adecuada atiende con rapidez a las demandas extraordinarias de aire que suelen hacerse momentáneamente.
- Proporcionan al aire comprimido la oportunidad de tranquilizarse para que el agua, polvo y aceite puedan separarse.
- Enfrían el aire antes de que pase a las tuberías, condensándose en ellas la mayor parte de la humedad.

- Permite que los motores de los compresores trabajen de forma intermitente, alternando el trabajo de cada compresor y de esta forma, ahorrando energía eléctrica y alargando sus horas de funcionamiento.

El volumen que un depósito debe tener, depende principalmente del flujo de aire, el volumen puede elegirse en la tabla XIV.

Tabla XIV. Volumen de depósitos de aire comprimido

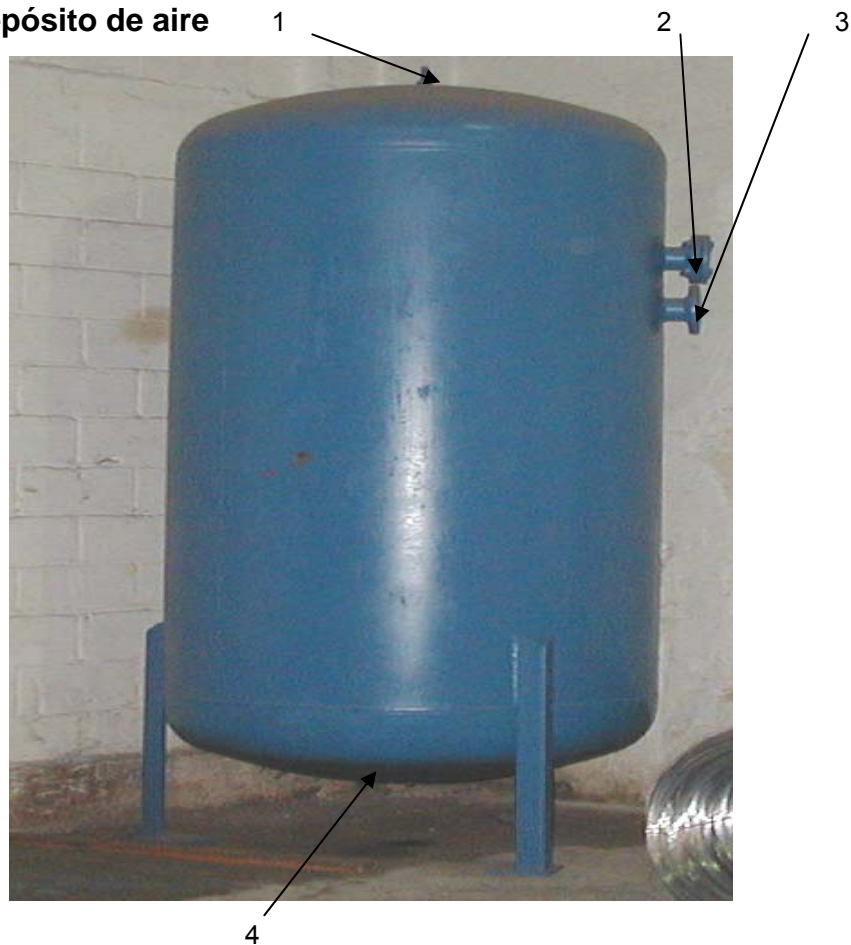
Caudal Lit/ min.	Caudal m³/min.	Volumen deposito m³
1.6 – 4.0	0.1 – 0.25	0.15
4.0 – 8.0	0.25 – 0.5	0.25
8.0 – 16.5	0.5 – 1.0	0.375
16.5 – 50.0	1.0 – 3.0	0.5
50.0 – 270	3.0 – 16.0	1
270 – 500	16.0 – 30.0	2
500 – 1000	30.0 – 60.0	4
100	60	6

Fuente: **Fundamentos de aire comprimido**, Atlas Copco, Pág. 92

En la planta de clavo y alambre se tiene proyectado conectar tres compresores al depósito, dichos compresores nos dan un caudal total de 135 pie³/ min, según la tabla XVI, por lo tanto haciendo la conversión nos da 3.85 m³/min por lo que tomando en cuenta la tabla XIV nos situamos en el rango de 3.0 a 16.0 m³/min por lo que nos da un deposito de 1 m³, pero en la planta se tiene un depósito que tiene un volumen de 2.92 m³, es un deposito mas grande de lo necesario pero a la vez es mejor ya que la función principal del deposito es almacenar aire comprimido y también previendo futuras ampliaciones.

Debe tenerse en cuenta que los depósitos de aire están sujetos a determinadas normas, muy estrictas y que deberían inspeccionarse regularmente, los depósitos de aire están provistos de una válvula de seguridad, que debe inspeccionarse también, haciéndola funcionar y de una válvula de drenaje para el condensado que igualmente debe probarse a diario, los depósitos deben instalarse de tal modo que puedan inspeccionarse desde cualquier posición, los depósitos pueden instalarse vertical u horizontalmente, constan de dos fondos con convexidad exterior, en la figura 28 se muestra el depósito de aire a instalarse en el centralizado de compresores.

Figura. 28 Depósito de aire



1. Válvula de seguridad, 2. Salida de aire hacia la red, 3. Entrada de aire del compresor, 4. Salida del condensado al drenaje

5.7 Cálculo de la capacidad de los compresores existentes

Para evaluar la capacidad de los compresores a instalar es necesario conocer el consumo del conjunto de utilidades del aire comprimido en la planta de clavo y alambre, ya que actualmente se encuentran trabajando cada uno por separado.

En la sección 5.1 se ha hecho el cálculo de la demanda de flujo de aire en la maquinaria y equipo de la planta, basándose en cálculos de gastos de aire hecho por cilindros neumáticos de la máquina trefiladora diez, como también tomando como referencia tablas donde se encuentra el consumo de aire para diversas herramientas, por lo que al elegir un compresor debemos de asegurarnos de que su capacidad venga también expresada en aire libre en (litros/min, m³/min, pie³/min), suministrado a 7 bar.

La maquinaria y equipo que se encuentra en la planta de clavo y alambre tiene un consumo de aire de 116.9 CFM, por lo tanto una vez concretadas las necesidades de aire comprimido es muy importante considerar el número de compresores a instalar, en el caso de la planta de clavo y alambre cuenta con 4 compresores de los cuales se tiene planificado instalar 3 compresores los cuales están numerados en el orden del número 1 al 3.

Los compresores, requieren mantenimiento preventivo, en algunos casos mantenimiento correctivo, para poderlo llevar a cabo, se hace necesario retirar los compresores del servicio para repararlos, lo ideal es tener una unidad de compresor de reserva de la misma capacidad para hacer frente a todas las necesidades que ocasionalmente se presenten, en la tabla XV se muestran las especificaciones de los compresores existentes.

Tabla XV. Especificaciones de los compresores reciprocantes

No. compresor	1	2	3	4	
HP	20	15	20	7.5	
Modelo	352TV	352TV	352TV	332TV	
Marca	Kellogg American	Kellogg American	Kellogg American	Kellogg American	
No. Cilindros	2	2	2	2	
CFM (Pie ³ /Min)	45	45	45	27.4	Total CFM 162.4
Presión máx. Fab. Bar/psi	12/175	12/175	12/175	12/175	
Volumen tanque Pie ³	20	14	24	3	
rpm motor	1785	1760	1700	1500	
rpm compresor	657	657	657	668	
Diámetro polea de compresor Pulg.	25¼	25¼	25¼	18	
Diámetro Polea motor pulg.	10	10	10	5½	
Presión máx.trabajo actual Bar/psi	9/140	8/115	8/115	8/120	
Presión min. trabajo actual Bar/psi	7/110	6/80	6/10	7/100	

En la figura 29 se muestran los compresores del número uno al cuatro existentes en la planta.

Figura 29. Compresores reciprocantes de la planta de clavo y alambre



Compresor No. 1, Capacidad 45 CFM



Compresor No. 2, Capacidad 45 CFM



Compresor No. 3, Capacidad 45 CFM



Compresor No. 4, Capacidad 27.4CFM

Tabal XVI. Caudal en CFM de los compresores a instalar

Compresor No.	HP	CFM
1	20	45
2	15	45
3	20	45
	Total Pie³/min	135

Fuente: **Catálogo de compresores Kellogg-American**, Pág. 3

En lo que respecta a la capacidad de los compresores, hay que partir del consumo total de la planta el cual es de 116.9 Pie³/ min, ya que una solución puede ser instalar las tres maquinas de igual capacidad ya que según la tabla XVI el compresor uno, dos y tres, producen cada uno 45 CFM por lo que en total me producen 135 CFM, es decir que con estos tres compresores se debe cubrir como mínimo los 116.9 CFM que demanda la planta de clavo y alambre.

En este caso los tres compresores estarán normalmente en funcionamiento mientras que el compresor numero 4 según la tabla XV, produce 27.4 CFM estará en reserva para cualquier emergencia, en el momento que falle cualquiera de los otros compresores, teniendo un conjunto de compresores tendremos 3+1 o sea añadir uno como reserva, es recomendable disponer de un compresor de reserva ya que de esta forma, se tiene la seguridad de un trabajo continuo.

5.8 Cálculo de los accesorios y materiales de la instalación

Si queremos lograr que el nuevo diseño de la red de tubería y el centralizado de los compresores funcione con eficiencia es necesario adquirir productos de calidad. Los accesorios deben cumplir con:

- Buena calidad de las tuberías que garantizara una completa seguridad en la instalación.
- Los accesorios y válvulas deben tener una baja caída de presión, esto nos garantizara una máxima eficiencia en la maquinaria y equipo neumático.
- Una buena elección en materiales y accesorios a utilizar nos puede evitar gastos mayores en el futuro debido a que se evitan los daños en el equipo neumático y por ende nos reduce las altas pérdidas de presión.

La tubería que se utilizara en la planta de clavo y alambre es tubo galvanizado HG de 2 pulgadas de diámetro para la tubería principal y de diámetro de 1 pulgada para la tubería secundaria y de servicio en la tabla XVII podremos observar algunas características del tubo galvanizado.

Tabla XVII. Características del tubo galvanizado

Material	Ventajas	Desventajas
Tubo galvanizado	Resistente a la corrosión, facilidad de instalación en las conexiones	Se debe hacer la unión uno tras otro por medio de roscas, si no va bien forrada la rosca con cinta de teflón puede dar lugar a las fugas

Los datos que a continuación se presentan fueron obtenidos del plano de nuevo diseño de la red de aire comprimido ubicado en el anexo, en el cual se tiene un total de todos los materiales y accesorios a utilizar, como se muestra en la tabla XVIII.

Tabla XVIII. Materiales y accesorios

Accesorios a utilizar	Cantidad	Diámetro Pulg.
Codos a 90°	10	2
Pieza en "T"	10	2
Uniones universales	10	2
Llaves de paso	3	2
Reducidor	12	de 2 a 1
Codos a 90°	25	1
Uniones universales	8	1
Reductores de campana	10	de 1 a 1/2
Llaves de paso	10	1/2

5.9 Cálculo de las purgas a necesitar

Para la evacuación del agua de condensado en una instalación de aire comprimido es conveniente proveerlas de purgadores automáticos, en el mercado se encuentran surtidos de diferentes modelos y para la elección se debe tomar en cuenta que cumplan con las siguientes observaciones:

- Purgadores adecuados para eliminar condensados donde la mezcla de agua-aceite y suciedad sea muy espesa
- Purgadores para una mezcla agua-aceite más líquido

La eliminación del condensado en el aire comprimido es una de las tareas mas difíciles del tratamiento del aire, dentro de la operación de la separación del aire y el agua las purgas que también son conocidas como trampas, tienen una participación muy importante ya que este equipo se encarga de desalojar el condensado, en la red de tuberías, cuando estén llenas de este, las purgas deben estar instaladas a una distancia de 30 metros en los puntos mas bajos de la red de distribución de aire ó en la parte inferior de un depósito de aire comprimido.

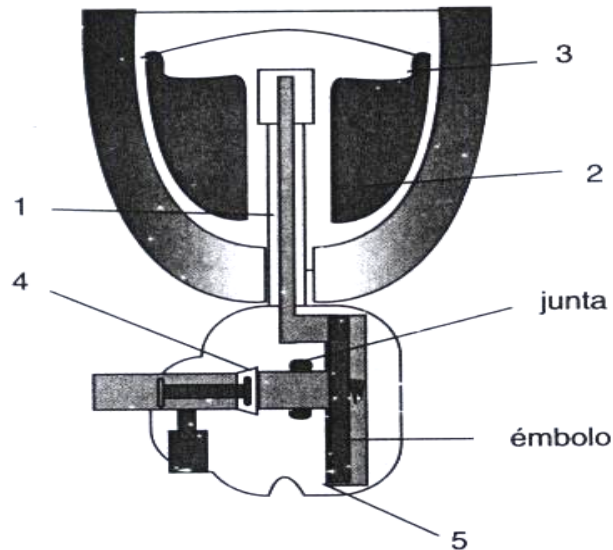
La función principal de una purga, es permitir una salida del condensado cuando esta llegue a un nivel determinado, por lo tanto la purga se abre, con lo cual deja pasar solamente el condensado y se cierra cuando percibe la presencia de aire.

En el nuevo diseño de la red de aire comprimido de la planta de clavo y alambre se tiene proyectado instalar dos purgas automáticas, la primera deberá ser instalada en la parte más baja de la red de tuberías que se encuentra con sus respectivas inclinación es a una altura de 5.58 metros, la segunda purga se tiene proyectado instalarla en la parte inferior del tanque de almacenamiento de aire comprimido, por lo que se pretende con estas dos purgas eliminar la mayor cantidad de condensado.

Existe el tipo de purga drenadora automática las cual se muestran en la figura 30, y su funcionamiento es el siguiente, cuando las condensaciones pasan a la cámara de purga entre los discos de estanqueidad a través de un orificio, al aumentar el condensado sube el flotador llegando al máximo nivel y abriendo la tobera, el aire comprimido pasa por el taladro central y empuja el embolo hacia la derecha, el disco de estanqueidad abre el paso de condensaciones a la atmósfera.

El aire escapa lentamente por el orificio de la parte inferior en el tiempo necesario para que se efectuó la evacuación del condensado.

Figura 30. Purga automática



Fuente: **Manual de aire comprimido**, Pág. 8

1. Cámara de purga, 2. Flotador, 3. Tobera, 4. Disco de estanqueidad, 5. Orificio de escape de aire

5.10 Centralizado de compresores

La sala de compresores es el centro de producción de aire comprimido desde la cual se envía por toda la planta la energía neumática en un proceso de expansión dando potencia a la maquinaria y equipo accionados por aire comprimido.

La elección del lugar apropiado para la construcción de la sala de compresores, dependerá en gran manera de la longitud de la red de distribución del aire comprimido.

En principio siempre se elegirá la zona norte, con el objeto de tomar el aire exterior de aspiración tan bajo de temperatura como sea posible.

La situación de los compresores de la planta de clavo y alambre requieren una decisión fundamental ya que la generación debe estar centralizada, en la actualidad se tiene una instalación de compresores descentralizada, por lo tanto se hace necesario montar una sola estación de compresores colocada cerca de los puntos de consumo, teniendo en cuenta los mayores consumos que puedan originarse, con el propósito de evitar pequeños diámetros de tubería de conducción, y prever posibles ampliaciones.

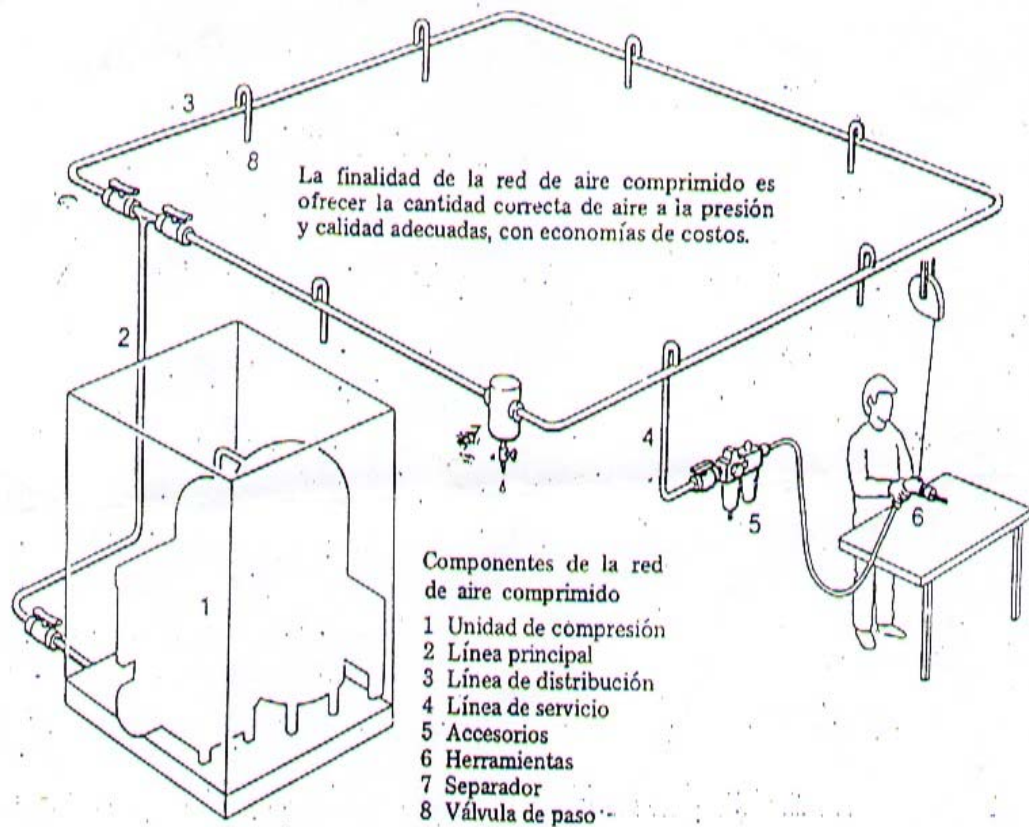
La instalación centralizada presenta la ventaja de poder instalar unidades de compresión en serie con iguales potencias hacia un tanque pulmón, debiéndose notar una mejora en el rendimiento y ahorro de energía eléctrica por kW/hora, permitiendo unificar las características de los compresores, además de conseguir que la capacidad total en CFM sea mayor que trabajando individualmente, también se facilita la vigilancia y el mantenimiento preventivo.

Al empezar debemos elegir un local bien ventilado y lo más exento posible de polvo y suciedad, cuanto mas baja sea la temperatura ambiente en la sala de compresores mejor será la disposición del calor cedido por el compresor, se recomienda que la temperatura de la sala oscile en el rango de 30 a 38 °C.

En lo que respecta a la sala de compresores de la planta de clavo y alambre se proyecta instalarla en la parte norte, donde se encuentra ubicada la bodega de producto terminado ya que es un lugar bien ventilado libre de polvo y otros contaminantes, esta ubicación la podremos ver en el plano de la planta de clavo y alambre ubicado en el anexo.

Es importante verificar los filtros de admisión del aire del compresor, ya que si el elemento filtrante está deteriorado o no está bien cerrado, entra aire sucio a las cámaras de compresión y por otro lado si está obstruido por suciedad se reduce el paso del aire hacia el exterior, bajando notablemente el rendimiento del compresor, en la figura 31 podremos ver un circuito cerrado de aire comprimido con sus unidades centralizadas de compresión.

Figura 31. Sistema Centralizado de aire comprimido



Fuente: Marcial Carboles Maeso, **Manual de mecánica industrial**, Pág. 21

El control de una instalación de compresores puede ser facilitada si se automatiza mediante un sistema apropiado que tenga capacidades funcionales, en este caso se van a poner a funcionar los tres compresores.

Alternando el trabajo de los mismos por medio de presostatos los cuales van a intervenir en los arranques y paradas de las maquinas, se va a regular automáticamente las operaciones de carga y descarga, se debe proteger el compresor con funciones de alarma y parada, se deben monitorear todas las presiones y temperaturas principales de los compresores, como también el nivel de aceite.

5.11 Pasos y procedimientos a seguir en la instalación de tuberías, accesorios y compresores

Se procede a inspeccionar la tubería y los accesorios cuidadosamente para ver el estado general de los mismos y verificar si no han sufrido algún daño durante el transporte, de presentarse alguna tubería o accesorio en mal estado se debe sustituir inmediatamente.

Después de haber hecho la inspección de tubería y accesorios se procede a la instalación de la misma para lo cual se procede a medir la distancia entre columnas de la red de distribución en la planta y nos da que a lo largo hay columnas con una distancia entre ambas de 6 metros y a lo ancho hay columnas con una distancia entre ambas de 5 metros, por lo tanto los tubos deberán ir sujetos por sus soportes en forma de escuadras en cada columna y para mayor seguridad con una abrazadera soldada que une el soporte y la tubería, se colocaran los tubos de la tubería principal de 2 pulgadas uno tras otro con uniones roscadas las cuales debe ser envueltas con teflón para evitar posibles fugas en las uniones.

También se procederá a colocar las tees que deberán ir uniendo los tubos, con una salida hacia arriba para que las bajadas de servicio salgan sobre la tubería principal y evitar la bajada del condensado en las tomas de aire.

Por lo tanto se procederá a colocar uniones universales en la tubería principal que nos permitirán el desmontaje de la tubería en el momento de llevar a cabo labores de mantenimiento preventivo como correctivo, en los casos que hay que cortar los tubos se procederá a limpiarlos con lima para luego hacerles sus respectivas roscas con la terraja, en el caso que hayan vueltas se procederá a colocar los codos a 90 grados.

En las bajadas para servicio se procederá a colocar un reductor de 2 a 1 pulgada, en la tee de la tubería principal, para luego bajar con la tubería en la cual llevara una llave de paso de acción rápida y una unidad de mantenimiento con su respectivo filtro, regulador, lubricador, por lo que ira conectado directamente a la maquinaria y equipo, en el caso de bajadas para tomas de aire la tubería de servicio llevara su respectiva llave de paso de acción rápida, su unidad de mantenimiento y por ultimo su acople de acción rápida donde deben ir conectadas las mangueras.

Se van a instalar los tres compresores del número 1 al número 3 con una capacidad de 45 CFM cada uno según la tabla XVI, actualmente funcionan con su respectivo tanque de compresión pero para el sistema centralizado se colocaran solo las cabezas y los motores que alimentaran el tanque pulmón que deberá ser instalado como mínimo a un metro de separación de los compresores y tendrá que llevar una purga automática para su salida de condensado, por lo tanto para cada cabeza y motor del compresor se necesitaran fabricar sus bases con lamina de 1/4 de espesor con las siguiente dimensiones, un ancho de 0.61 metros por un largo de 1.18 metros, también tendrá que instalarse una malla de protección alrededor del cuarto de compresores.

Los compresores deben ser colocados en el área seleccionada, las cabezas y el motor cuentan con una dirección de giro preestablecida y deberá ser respetada, se deberá tomar en cuenta que debe haber por lo menos un metro de separación entre cada compresor para tener el espacio suficiente para llevar a cabo labores de mantenimiento preventivo y correctivo. Al instalar los compresores se deberán nivelar, por lo tanto se debe auxiliar de un nivel de gota para obtener una mayor precisión, los 3 compresores deben quedar bien alineados, por lo que irán conectados por medio de una tubería al tanque pulmón y se debe revisar la transferencia correcta del aire al tanque, a la carga como a la descarga.

Se deben sujetar los compresores con su respectiva base al piso empleando pernos y aislantes de vibración ya que se deben minimizar las vibraciones al momento de estar operando, también es importante realizar una limpieza general a las cabezas de cada compresor y su respectivo motor antes de ponerlo a trabajar en operación normal.

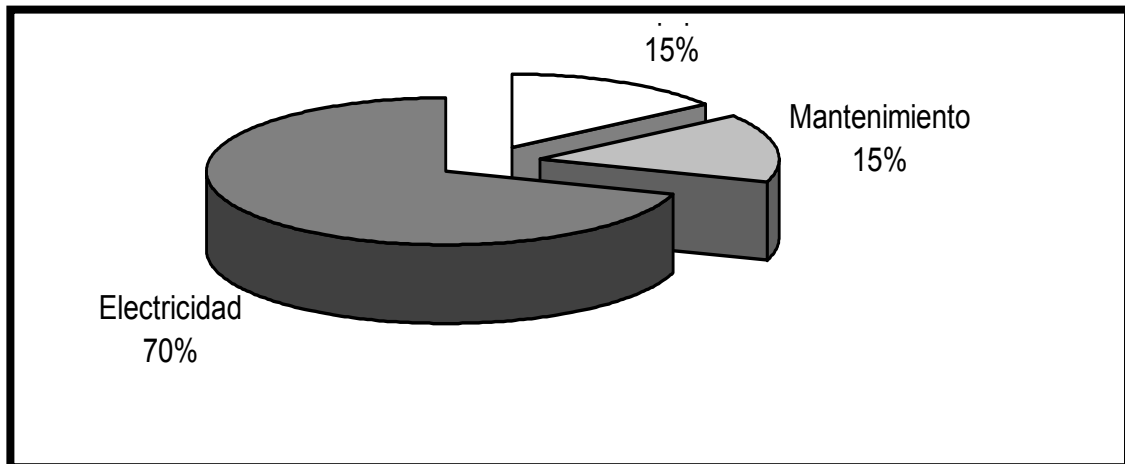
Conectar la entrada eléctrica de los compresores, ya que cuentan con un sistema para poder hacer las conexiones y trabajar con 440 voltios trifásico, conectar también los elementos de control entre ellos los presostatos que regularan el trabajo de cada compresor para el llenado del tanque de almacenamiento de aire, válvulas de seguridad, manómetros, en el caso que exista se debe apoyar con el diagrama eléctrico del equipo y verificar que su secuencia de operación sea la correcta.

Al arrancar las unidades compresoras debe asegurarse que las máquinas estén libres, es decir que no existan tirones en las fajas del motor y la cabeza y que todo marche normalmente.

6. EVALUACIÓN DE COSTOS ECONÓMICOS DEL PROYECTO

La generación de aire comprimido es de un alto costo, pero en la actualidad sigue siendo un tipo de energía muy usada que nos puede permitir el uso de herramienta de alta velocidad. En la figura 32 se muestra como se encuentran distribuidos los costos en la producción de aire comprimido.

Figura 32. Costo de producción de aire comprimido



Fuente: Marcial Carboles, **Manual de mecánica industrial**, Pág. 35

6.1 Cálculo de costos de materiales de la instalación

Los precios cotizados de los materiales para el nuevo diseño de la red de aire comprimido fueron proporcionados por la bodega de repuestos de la empresa Aceros de Guatemala, en la tabla XIX se muestra el listado de los materiales a necesitar para llevar a cabo el proyecto.

Tabla XIX. Costos de los materiales

Materiales	Diámetro	Precio	Cantidad	Total
Tubo galvanizado	2"	Q 90.00	35	Q. 3,150.00
Tubo galvanizado	1"	Q 39.60	16	Q. 624.00
Angular de 1"		Q 69.50	5	Q. 347.50
Electrodos 6013	3/32"	Q 10.00	10 Libras	Q. 100.00
Pintura color azul		Q 100.00	5 galones	Q. 500.00
Cable eléctrico calibre 10		Q. 1.50	20 M	Q. 30.00
Toma corrientes duplex		Q. 15.00	2	Q. 30.00
Toma corriente 220 voltios		Q 45.00	1	Q. 45.00
Lámparas de Neon		Q 45.00	3	Q. 135.00
Lamina 1/4"		Q 250.00	2	Q. 500.00
Suma total				Q. 5,461.50

6.2 Cálculo del costo de equipo y accesorios

El listado del costo del equipo y accesorios fueron proporcionados también por la bodega de repuestos de la Empresa Aceros de Guatemala, algunas cotizaciones que se pidieron por parte de la jefatura de la planta de clavo y alambre a empresas proveedoras de equipo neumático. En la tabla XX se muestra el cálculo del costo del equipo y los accesorios.

Tabla XX. Costos del equipo y accesorios

Equipo/accesorios	Diámetro	Precio	Cant.	Total
Codos HG de 90°	2"	Q. 18.00	10	Q. 180.00
Tee HG	2"	Q. 29.00	10	Q. 296.00
Uniones universales	2"	Q. 63.10	10	Q. 631.00
Llaves de paso	2"	Q. 216.50	3	Q. 649.50
Reducidor bushin	2" a 1"	Q. 11.40	12	Q. 136.80
Codo HG de 90°	1"	Q. 39.60	25	Q. 990.00
Uniones universales	1"	Q. 13.60	8	Q. 108.80
Reducidores de campana	1" a 1/2	Q. 5.30	10	Q. 53.30
Llaves de paso	1/2	Q. 31.70	10	Q. 31.70
Purga automática	3/4	Q. 705.87	2	Q. 1,411.74
Unidad de mantenimiento	1/2	Q. 1,341.18	1	Q. 1,341.11
Presostato		Q. 263.20	3	Q. 789.60
			Total	Q. 6,619.55

6.3 Cálculo del costo de la mano de obra

Para llevar a cabo el nuevo diseño de la red de aire comprimido se tiene un tiempo estimado de un mes, se debe invertir en la mano de obra, que estará a cargo de un mecánico del taller de mantenimiento con su respectivo ayudante, dos soldadores y un ingeniero mecánico.

En la empresa un mecánico de mantenimiento industrial devenga un sueldo de Q. 2,500.00; un ayudante devenga un sueldo de Q. 1,500.00; un soldador devenga un sueldo de Q. 2,500.00.

Un ingeniero mecánico devenga un sueldo de Q. 5,000.00; trabajando en total 5 personas con horario de 8 horas diarias, por lo tanto tenemos los cálculos en la tabla XXI.

Tabla XXI. Costo de mano de obra

Empleado	Cantidad	Sueldo mensual	Total 1 mes
Mecánico	1	Q. 2,500.00	Q. 2,500.00
Ayudante mec.	1	Q. 1,500.00	Q. 1,500.00
Soldador	1	Q. 2,500.00	Q. 2,500.00
Ing. mecánico	1	Q. 5,000.00	Q. 5,000.00
Total mano de obra			Q.11,500.00

El costo de la mano de obra del nuevo diseño de la red de aire comprimido en la planta de clavo y alambre es de Q. 11,500.000.

6.4 Presupuesto total del proyecto

Sumando el costo de los materiales, el equipo y accesorio y la mano de obra, según los datos obtenidos, se puede tener el presupuesto total del proyecto como se muestra en la tabla XXII.

Tabla XXII. Costo total del proyecto

Costo de materiales	Q. 5,461.50
Costo de equipo y accesorios	Q. 6,619.55
Costo de la mano de obra	Q. 11,500.00
Costo total	Q. 23,581.05

6.5 Cálculo del ahorro de energía eléctrica

La planta esta operando en la actualidad con cuatro compresores reciprocantes marca Kellog-American modelos 352 TV de 20 hp, 352 TV de 15 hp, 352 TV de 20 hp, 332 TV de 7.5 hp, en la tabla XXIII se muestra la capacidad en HP y kW.

Tabla XXIII. Capacidad en HP y kW de los compresores

No. COMPRESOR	MARCA	HP	kW.
1	Kellog American	20	15
2	Kellog American	15	11
3	Kellog American	20	15
4	Kellog American	7.5	5.6
		Total 62.5	Total 46.6

Por lo tanto vamos a tener el siguiente cálculo de consumo de energía eléctrica de los cuatro compresores.

$$46.6 \text{ kW.} * 24 \text{ hr / día} * 26 \text{ días / mes} * 12 \text{ meses / 1 año} \\ = 348,940.8 \text{ kW – hr / año}$$

En la nueva instalación de aire comprimido se ha planificado instalar tres compresores que son el compresor numero uno de 20 HP.

El compresor numero dos de 15 HP, el compresor numero tres de 20 HP y dejar el compresor numero 4 de 7.5 HP, como reserva para cualquier eventualidad en que se necesite al fallar alguno de los demás compresores, por lo que se muestran en la tabla XXIV.

Tabla XXIV. Compresores a instalar

No. COMPRESOR	MARCA	HP	kW.
1	Kellog American	20	15
2	Kellog American	15	11
3	Kellog American	20	15
Suma total		55	41

Tomando de la suma total los 41 kW tenemos la conversión a kW-hr/año:

$$41 \text{ kW.} * 24\text{hr/día} * 26 \text{ días / mes} * 12 \text{ meses/1 año} \\ = 307,008.00 \text{ kW – hr/año}$$

Tabla XXV. Ahorro en consumo de energía eléctrica

Consumo de energía en instalación actual	348,940.8 kW – hr/año
Consumo de energía en nueva instalación	307,008.00 kW – hr/año
Ahorro en consumo	41,932.80 kW – hr/año

El precio del kW – hr, para la empresa es de Q. 0.85 centavos, realizamos la siguiente operación:

$$41,932.80 * Q. 0.85 = \mathbf{Q. 35,642.88/año}$$

Con el mejoramiento de la red de aire comprimido en la planta de clavo y alambre de la empresa Aceros de Guatemala, tendremos un ahorro de 41,932.80 kW – hr/año y un ahorro en quetzales de Q. 35,642.88, a esto también podemos agregar el ahorro en energía eléctrica por fugas según se menciona en el capítulo 4 y tabla V, habiendo realizado la conversión a quetzales que asciende a Q. 36,140.00 por año, por lo que procederemos a hacer la sumatoria del ahorro total en quetzales en consumo de energía eléctrica, según se muestra en la tabla XXVI.

Tabla XXVI. Ahorro en quetzales en consumo de energía eléctrica

Ahorro consumo en compresores	Q. 35,642.88
Ahorro consumo en fugas	Q. 36,140.00
Total ahorro en quetzales	Q. 71,782.88

Por lo tanto a Q. 71, 782.88 se le tendrá que restar la inversión total del proyecto para el primer año, según la tabla XXII que asciende a la cantidad de 23,581.05, entonces tenemos:

$$Q. 71,782.88 - Q. 23,581.05 = \mathbf{Q. 48,201.83}$$

El ahorro en quetzales que se tendrá el primer año, por concepto de energía eléctrica será de Q. 48,201.83 por lo que en los próximos años se tendrá un ahorro anual en quetzales por energía eléctrica de **Q.71, 782.88**.

7. MANTENIMIENTO GENERAL DEL EQUIPO

El mantenimiento es el conjunto de actividades que deben llevarse a cabo en instalaciones y equipos en este caso nos referimos a todo lo relacionado con la generación y distribución de aire comprimido, esto con el fin de corregir o prevenir posibles fallas en el sistema de aire, ya que el mantenimiento tiene la función principal que se preste el servicio de todo el sistema de generación de aire, como de la maquinaria y equipo.

7.1 Mantenimiento general de los compresores

El mantenimiento propuesto para los compresores es de tipo preventivo, ya que el objetivo principal es la conservación del servicio que prestan en la planta de clavo y alambre, todo esto ayudara a tener una mejora en la calidad y disponibilidad del aire comprimido en todas las área de proceso de la planta.

La primera medida de prevención y mantenimiento que debemos tomar en cuenta es la localización del compresor que debe estar instalado en un ambiente seco, limpio, ventilado, ya que con estas medidas se brinda una adecuada instalación para que el compresor trabaje a su máxima eficiencia.

El mantenimiento preventivo incluye revisiones de válvula de seguridad, válvulas de alivio, filtros, separadores de aceite, sistema de enfriamiento, reguladores de presión, calibraciones o cambios de piezas completas. Podemos mencionar que se llevara a cabo el tipo de mantenimiento predicativo haciendo análisis de aceite en el cual se tomaran muestras de las mismas.

7.1.1 Mantenimiento diario

La inspección diaria de la unidad toma en cuenta aspectos de fácil control por lo que se necesita que se involucre el personal del taller de mantenimiento mecánico, durante esta revisión diaria se inspeccionan aspectos como nivel de aceite, purga de condensado, temperatura de descarga del aire, manómetro, actividades de mantenimiento que se muestran en la tabla XXVII.

Tabla XXVII. Mantenimiento diario

Hoja de verificación diaria para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar	Diario		
C= Cambiar, si es necesario	L	R	C
Parte del compresor			
Nivel de aceite		X	
Purga del condensado	X	X	X
Temperatura de descarga del aire		X	
Manómetro		X	

7.1.2 Mantenimiento semanal

El mantenimiento semanal cubre inspecciones en las cuales debe estar involucrado el personal del taller de mantenimiento mecánico por lo que podemos mencionar que se debe inspeccionar, la válvula de condensado, el filtro de aceite, actividades de mantenimiento que se muestran en la tabla XXVIII.

Tabla XXVIII. Mantenimiento semanal

Hoja de verificación semanal para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar			
C= Cambiar, si es necesario	Semanal		
Parte del compresor	L	R	C
Unidad de mantenimiento	X	X	
Válvula de condensado	X	X	
Filtro de aceite		X	

7.1.3 Mantenimiento mensual

En el mantenimiento mensual se tendrán que llevar a cabo inspecciones a través del taller de mantenimiento mecánico, se debe inspeccionar el ventilador de enfriamiento, las válvulas de seguridad, las bandas y poleas, análisis de aceite, actividades de mantenimiento que se muestran en la tabla la tabla XXIX.

Tabla XXIX. Mantenimiento mensual

Hoja de verificación mensual para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar			
C= Cambiar, si es necesario	Mensual		
Parte del compresor	L	R	C
Ventilador de enfriamiento del aire		X	
Válvula de seguridad		X	
Bandas y poleas		X	
Análisis de aceite		X	

Tabla XXX. Mantenimiento semestral

Hoja de verificación semestral para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar	Semestral		
C= Cambiar, si es necesario			
Parte del compresor	L	R	C
Nivel de aceite	X	X	X
Ventilador de enfriamiento del aire	X	X	X
Filtro de aire	X	X	X
Filtro de aceite	X	X	X
Lubricación de cojinetes		X	X
Lubricación de mecanismos		X	X
Motor eléctrico	X	X	

Tabla XXXI. Mantenimiento anual

Hoja de verificación anual para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar	Anual		
C= Cambiar, si es necesario			
Parte del compresor	L	R	C
Unidad de mantenimiento	X	X	X
Manómetro	X	X	X
Bandas y poleas	X	X	X
Filtro de aire			X
Contactos del arrancador		X	

Tabla XXXII. Mantenimiento cada cinco años

Hoja de verificación cada 5 años para compresores de aire

L= Limpiar, R= Revisar	5 Años		
C= Cambiar, si es necesario			
Parte del compresor	L	R	C
Válvulas de seguridad	X	X	X
Válvulas de condensado	X	X	X
Anillos de pistones	X	X	X
Válvulas de admisión y escape	X	X	X
Pistones de 1ra. Y 2da. etapa	X	X	X
Cilindros 1ra. Y 2da. etapa	X	X	X

7.2 Mantenimiento de tuberías de la red de aire

Para formular los programas de mantenimiento preventivo y preparar la lista de verificación, se debe tener un panorama general completo de todo el sistema neumático. Para la verificación e inspección periódica de un sistema neumático, se les debe dar más importancia a las áreas con más propensión a presentar problemas.

- Líneas principales del aire, líneas en general, accesorios
- Unidades de acondicionamiento del aire, filtro, regulador, lubricador
- Válvulas de conexión y desconexión de la línea
- Válvulas neumáticas de control
- Cilindros y motores neumáticos

En la tabla XXXIII están los reglones del mantenimiento para las tuberías de aire.

Tabla XXXIII. Mantenimiento de las tuberías de la red de aire

Actividad de mantenimiento	Diario	Semanal	Mensual
Detección de fugas de aire		X	X
Inspección completa de todo es sistema de tubería			X
Inspección de uniones, tes, codos, acoplamientos			X
Toma de la presión en puntos estratégicos			X
Trampa manual de condensado	X		X
Drenaje automático de condensado			X
Cortes en líneas de aire agujeros		X	

7.3 Mantenimiento de válvulas y accesorios

Con un programa de mantenimiento preventivo bueno y bien planeado, es de esperar que las válvulas y accesorios neumáticos duren un periodo bastante largo, sin fallas inesperadas y molestas. Para identificar el elemento defectuoso se deben hacer funcionar todos los elementos del sistema, con esto se adquirirá seguridad de cual válvula o accesorio no actuó, en la tabla XXXIV se muestra los reglones de mantenimiento, para la unidad de mantenimiento compuesta por su filtro, regulador, lubricador.

Tabla XXXIV. Mantenimiento de la unidad de filtro, regulador, lubricador

Actividad de mantenimiento	Diario	Semanal	Mensual	Trimestral	Anual
Detección de fugas de aire	X				
Drenar el condensado del filtro	X				
Limpieza del cartucho filtrante				X	
Verificar presión del regulador de presión			X		
Calibrar el manómetro					X
Limpieza del tazón del filtro y aceitera					X
Recuperar el nivel del aceite		X			
Limpiar el paso del chorro de aceite				X	
Detección de fugas de aceite				X	
Cambio de aceite al haber limpiado el tazón					X

Tabla XXXV. Mantenimiento de válvulas de conexión de aire

Actividad de mantenimiento	Semanal	Mensual	Anual
Fugas de aire en válvulas y accesorios de manguera		X	
Accionamiento de la manija de la válvula	X		
Cambio de válvulas si es necesario			X

7.4 Localización de fugas y fallas en el sistema de aire

Los problemas más comunes que ocurren con mayor frecuencia se deben a un mal funcionamiento del sistema debido a fugas, los lugares en donde se concentran la mayoría de los problemas se puede enumerar como sigue:

- Problemas relacionados con el sistema de tuberías
- Problemas relacionados con los componentes del sistema
- Problemas relacionados con un diseño defectuoso del sistema

Los problemas principales del sistema de tuberías se relacionan en su mayor parte con fugas del aire comprimido. Las fugas a través de los accesorios, cualesquiera otras conexiones de los componentes constituyen un problema.

La mayor parte de las fugas se deben a conexiones en mal estado, el problema asociado con las fugas es la caída resultante de la presión, lo que conduce a funcionamiento erróneo y defectuoso del actuador, con menos fuerza a menor velocidad, si sucede esto se puede tener un efecto adverso sobre el tiempo del ciclo del sistema y producir esfuerzos indebidos en el sistema mecánico. Si se producen fugas indeseables, en el sistema en conjunto se pueden encarar los siguientes problemas:

- Mayor carga para el compresor de aire.
- Desperdicio del costoso aire comprimido, sin que se esté realizando algún trabajo con un fin determinado.
- Un costo más elevado de operación y de mantenimiento de la planta con instalación neumática.

Las fugas se pueden detener al tomar las medidas siguientes:

- Apretar las conexiones, accesorios
- Reemplazar los accesorios defectuosos y dañados o los tubos y mangueras rotos
- Usar los compuestos químicos adhesivos comerciales de los que se disponga en el mercado

En el caso de pegamentos comerciales, se debe tener cuidado especial de modo que el compuesto químico de la liga no sea arrastrado por el aire y, en consecuencia, agrave el problema de filtración del aire comprimido, lo cual es de igual importancia para una mejor conservación del sistema.

El detectar fugas es una actividad muy importante del taller de mantenimiento mecánico en el sistema neumático, es posible que no se tengan muchos problemas para localizar los puntos en donde se están produciendo fugas en un sistema, si la magnitud de la fuga del aire comprimido es bastante significativa, el aire se escapa produciendo ruido y como consecuencia es más fácil la identificación, en el caso de fugas menores diminutas, fugas a través de aberturas muy pequeñas, tiene que aplicarse agua jabonosa en las conexiones, la cual indicará la fuga ya que, en ese caso, el aire producirá burbujas suficientes al escapar.

Aun cuando un sistema neumático este diseñado con el mayor cuidado posible se puede tener problemas, para la detección de fallas en un sistema neumático, el personal de mantenimiento debe seguir los siguientes pasos:

- Tener el diagrama del circuito de la red de tubería y el equipo, para tratar de comprender el aspecto funcional del sistema, incluyendo la función y construcción de los componentes.
- En los equipos se debe tratar de averiguar el aspecto secuencial de los cilindros neumáticos, recorriendo todos sus componentes.
- Para identificar los elementos defectuosos de un equipo, se deben hacer funcionar todos los elementos, uno después de otro, según la secuencia de la operación, de manera sistemática y metódica, con esto se adquirirá la seguridad de cuál válvula falló en generar la señal o cuál cilindro no se movió, incluso después de haber alimentado la señal.

A veces es posible que el sistema neumático de un equipo no funcione debido a problemas mecánicos transmitidos desde otros componentes mecánicos o sistemas eléctricos asociados, hoy en día se usan cada vez más válvulas accionadas por solenoide, de donde una falla eléctrica puede detener la operación del sistema.

Se pueden desarrollar fallas mecánicas puras por tirones excesivos, los cuales pueden aflojar los elementos mecánicos de actuación, como rodillos, resortes, levas, esto inducirá una señal defectuosa. No solo basta con reparar sencillamente la pieza dañada, sino que es responsabilidad de taller de mantenimiento profundizar en el análisis de la naturaleza del daño e identificar la causa principal de la falla, entonces tomar las medidas necesarias para impedir la recurrencia de un tipo semejante de falla en el futuro.

Podemos mencionar que se dan fallas en los compresores recíprocos, ya que al instalar los compresores se deben seguir las recomendaciones que nos sugiera el fabricante para una mejor conservación y funcionamiento del mismo.

En la planta de clavo y alambre se instalaran tres compresores reciprocantes a los cuales se les debe dar un seguimiento respecto a sus fallas, en la tabla XXXVI se mencionan algunas fallas en los compresores reciprocantes.

Tabla XXXVI. Localización de fallas en compresores reciprocantes

	Falla	Causa	Solución
1	No arranca el compresor	Por falta de aceite	Llenar de aceite a su nivel
2	Dispara la válvula de seguridad entre fases	Válvula de seguridad en mal estado	Repararla o cambiarla
3	El aceite en filtro de aspiración	Demasiado aceite y al trabajar en vacío expulsa el aceite por el filtro	Revisar empaquetadura pues puede pasar un exceso de aceite por ese punto
4	Consumo excesivo de aceite en el carter	Empaquetadura deteriorada o floja	Reapretar o cambiar
		Nivel de aceite muy alto	Revisar el carter
5	No sube la presión de aceite	Giro inverso de la bomba	Cambiar polaridad del motor
		Falta de aceite	Llenar de aceite al nivel
		Manómetro averiado	Cambiar o reparar
6	Caudal del compresor disminuido	Válvulas de admisión en mal estado	Revisar válvulas
		Filtro de aspiración sucio	Limpiar el filtro
7	Inconvenientes en suministro de aire	Tubería de admisión obstruida	Limpiar tubería
8	Sube la presión final	Presostato averiado	Cambiarlo
		Tubería de presostato rota	Repararla
		Electrovalvula averiada	Revisar funcionamiento
		Tubería de regulación rota	Arreglar tubería
9	La máquina se apaga	Falta de aceite	Revisar circuito de aceite
		Fallo eléctrico	Revisar funcionamiento
10	Baja la presión entre fases	Válvula admisión 1ra. Etapa mal	Revisar válvulas
		Válvula de escape 1ra. Etapa mal	Revisar válvulas
11	Baja presión final de servicio	Consumo excesivo en la red	No es falla del compresor
		Presostato averiado	Cambiarlo
12	Calentamiento del compresor	Válvulas en malas condiciones	Revisar
		Presión de descarga excesiva	Controlar
13	Zona del cárter	Alguna pieza suelta (tornillo, biela)	Sujetar la pieza
14	Zona de cilindros	Cuerpos extraños en espacio muerto	Desmontar y limpiar
15	En las poleas	Fajas flojas	Apretar fajas

8. SEGURIDAD INDUSTRIAL EN APLICACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

La seguridad industrial figura como un fundamento de derecho humano enmarcado dentro de la relación laboral del hombre, sin embargo muchas son las personas que no se percatan del bienestar de los trabajadores hasta que no se hace ver la diferencia entre un gasto y la inversión que representa la seguridad industrial en nuestro caso en instalaciones de aire comprimido.

La seguridad industrial se enfoca a hacer seguro el ambiente en el cual se lleva a cabo un trabajo, con la finalidad de preservar la vida y el bienestar de las personas que laboran allí. Por lo tanto todos los trabajos realizados dentro de la planta de Clavo y Alambre deben efectuarse con el debido equipo de protección personal y apegada a las normas de seguridad industrial imperantes en la empresa ya que la principal meta de la seguridad industrial es de tener cero accidentes.

Para poder lograr la meta de cero accidentes se le debe proporcionar a los trabajadores el equipo de protección personal necesario para que puedan llevar a cabo el trabajo con toda seguridad, el equipo de protección personal básico con el cual deben contar los empleados es el siguiente: botas de seguridad, casco aislante, lentes de seguridad, guantes de cuero, mascarillas, tapones auditivos y cinturones de seguridad.

Antes de proceder a realizar cualquier trabajo en la red de tuberías o en el sistema centralizado de generación de aire comprimido, se debe realizar el correcto bloqueo de las fuentes de energía de la máquina (eléctrica, neumática, hidráulica, etc.) e inmediatamente asegurarse que efectivamente se ha realizado este paso, el bloqueo consiste en cortar la energía eléctrica en el flipón del panel eléctrico y colocar una tarjeta en el panel de control eléctrico donde se indique que se están haciendo trabajos, también se debe hacer el bloqueo para válvulas de paso de aire.

8.1 Propósito

Se le deben dar los conocimientos elementales al personal de mantenimiento mecánico y eléctrico que involucra (mecánicos, electricistas), para poder realizar el bloqueo de los equipos de generación de aire comprimido y sus accesorios, por lo tanto poder realizar las labores de mantenimiento.

8.2 Alcance

El procedimiento de bloqueo se aplica para todos los compresores, equipo y accesorios del sistema centralizado de la generación de aire comprimido que se encuentran en la planta de Clavo y Alambre de la empresa Aceros de Guatemala.

8.3 Responsabilidad

Debe ser responsabilidad de los mecánicos de la planta de Clavo y Alambre dar el mantenimiento a los compresores, realizar el bloqueo de energía eléctrica y neumática de los equipos y accesorios del sistema centralizado de la generación de aire comprimido.

Es responsabilidad del ingeniero de planta velar porque se lleve a cabo este procedimiento en el cual será prioridad la seguridad industrial y proporcionar las herramientas y materiales para su adecuada realización.

8.4 Acto inseguro y condición insegura en instalaciones de aire

En los accidentes intervienen dos factores esenciales, el hombre y el medio en que se desenvuelven, el factor hombre en si, se refiere en nuestro caso al trabajador (sea del sexo masculino o femenino), quién en el diario desenvolvimiento dentro de su trabajo, puede cometer situaciones erróneas, que son las que conllevan a sufrir un accidente de trabajo, a esta manera de actuar fuera de toda seguridad individual es a lo que le denomina acto inseguro.

El acto inseguro es la violación a un procedimiento corrientemente aceptado como seguro, motivado por prácticas incorrectas que ocasionan un accidente en cuestión, así como:

- Violación a reglamentos de seguridad establecidos.
- Ignorancia en cuanto al uso de equipos, herramientas, procesos industriales, etc.
- Trasgresión de instrucciones.
- Falta de seriedad en el trabajo.
- Imprudencia.
- Descuidos.
- Distracciones.
- Defectos personales.
- Defectos psicológicos.

Por ejemplo se mencionan algunos actos inseguros, que pueden repercutir en accidentes:

- Operar una máquina, equipo o herramienta sin autorización.
- Operar o trabajar a velocidad insegura.
- Hacer ineficaces los dispositivos de seguridad, retirándolos o destruyéndolos.
- Trabajar en forma incorrecta (usando las manos en lugar de algún equipo o herramienta).
- Adoptando posiciones inadecuadas.
- Haciendo reparaciones o revisando equipos en movimiento.
- Distrayendo, asustando, bromeando en el lugar de trabajo.
- Ignorando el uso de protección personal.
- Usando prendas que representan riesgo en el lugar de trabajo (relojes, anillos, esclavas, cadenas, corbatas, etc.

En lo que se refiere al medio en que se desenvuelve el trabajador, nos estamos refiriendo a todo lo que lo rodea, en su micro atmósfera de trabajo, por ejemplo:

- Compresores.
- Máquinas.
- Motores.
- Vehículos.
- Herramientas.
- Instalaciones.
- La ventilación.
- La iluminación.

- Los colores.
- Las aglomeraciones.

Los peligros que estos representan, es a lo que se le denominan condiciones inseguras, por ejemplo:

- Resguardos inapropiados.
- Equipos o herramientas de trabajo deteriorado o inadecuado.
- Instalaciones (eléctricas, neumáticas, etc.) en mal estado o improvisadas.
- Iluminación y ventilación, inapropiada.
- Equipo de protección personal defectuosos o inadecuados.
- Colores incorrectos.
- Falta de señalización.
- Mal acondicionamiento de máquinas, compresores o lugares de trabajo.
- Mala ubicación de los compresores y máquinas.

Podemos mencionar que el funcionamiento apropiado de un compresor de aire depende del criterio de diseño, por lo tanto cuando se refiere a su seguridad industrial de operación, cuidado y mejor rendimiento, se le debe dar importancia a los siguientes puntos básicos:

- **Chorros de aire:** El aire comprimido que se libera a través de una boquilla se mueve a alta velocidad, el aire a 90 ó 100 Psi se expande hasta ocho veces su volumen estando comprimido al liberarse a la atmósfera, por lo tanto se concluye que los trabajadores deben tener cuidado con los chorros de aire y no deben de jugar con el aire comprimido, se han tenido casos graves de lesiones internas e incluso de muertes por chorros de aire que se aplican al cuerpo humano.

Hay que verificar los extremos de las mangueras antes de conectarlos, ya que un escape de aire comprimido a alta presión en una manguera provoca el efecto de chicoteo.

- **Tanques de aire:** Los tanques de compresión y la tubería deben ser suficientemente fuertes como para soportar la presión que deben manejar, los tanques deben cumplir con la norma ASME (*American Society of Mechanical Engineers*).
- **Válvulas de seguridad:** Todos los compresores reciprocantes desarrollarán presiones cada vez más elevadas, si no se usa el aire comprimido y se deja que el compresor continúe operando a plena carga, es obvio que, en esas condiciones, si no se proporciona un alivio, lo mas pronto posible algo debe ceder y el aire, debido a que se expande al liberarse, actúa con una fuerza casi explosiva, todos los auxiliares de los compresores, como los tanques de compresión se equipan con válvulas de seguridad, estos se deben conservar en servicios y probarse a intervalos regulares, también se debe colocar una válvula de seguridad en la línea de descarga del compresor, entre el propio compresor y cualquier válvula de cierre que se coloque en la línea adelante del tanque de compresión.
- **Sobrecalentamientos de los elementos del compresor:** Las indicaciones de temperaturas elevadas se deben investigar de inmediato, las cubiertas de las válvulas calientes en forma anormal son una indicación, esto indica las válvulas rotas o con fugas.

Normalmente los compresores de aire operan a temperaturas moderadas pero, en ocasiones, la falla de alguna pieza permite que la temperatura se eleve bastante como para encender los depósitos de aceite, el aceite en exceso se debe eliminar por extracción, no debe permitirse que se acumulen depósitos de carbón en las válvulas. Se debe evitar la lubricación excesiva del cilindro neumático. La válvula o cualesquiera otras piezas nunca deben limpiarse con gasolina u otros líquidos intensamente volátiles e inflamables.

Si la condición lo amerita, se puede instalar un sistema de alarma automática o dispositivos de paro automático, cuando la temperatura de descarga del aire se vuelve excesiva.

Los compresores se deben instalar en su sala, con una separación de por lo menos un metro entre cada uno para poder realizar con la seguridad debida las labores de mantenimiento, se debe colocar una malla alrededor de los compresores. También se debe señalar en la entrada de la sala de compresores, con un rotulo que diga ingreso solo personal autorizado, en la figura 33 se muestra el rotulo.

Figura 33. Indicación de acceso restringido a sala de compresores.



La tubería principal, de distribución y de servicio, de aire comprimido se debe pintar de color azul, según los colores que se utilizan en la empresa Aceros de Guatemala para tuberías de aire, ya que es un factor primordial para una mejor identificación de la red de aire comprimido.

8.5 Inspección de todos los componentes y equipos antes y después del arranque

Es de vital importancia llevar a cabo una inspección de todos los equipos antes y después del arranque, por lo tanto tendremos un mejor rendimiento de la maquinaria y equipo, que conlleva a evitar una caída de presión en la línea de trabajo del equipo.

Todos los equipos neumáticos instalados en la planta de clavo y alambre están diseñados para trabajar a una presión máxima de 90 Psi ó 6 bar, por lo tanto al haber una presión menor a estas de referencia, el equipo no puede llevar a cabo con eficiencia el trabajo para el cual fue diseñado, se debe realizar una inspección visual antes y después del arranque en el cual se vera toda la tubería principal, de distribución y servicio, unidades de mantenimiento, de primordial importancia se debe inspeccionar el compresor, sus niveles de aceite, filtros de succión de aire, revisar la fajas, poleas, oír si hay algún ruido anormal, ver si hay demasiadas vibraciones, en el tanque de almacenamiento se debe revisar que el manómetro este funcionando en buenas condiciones antes y después del arranque.

Es necesario inspeccionar la instalación y conexiones eléctricas, al haber un corto circuito puede provocar de inmediato un incendio, el aire ayuda a la combustión, se debe tener cuidado cuando se maneja junto a sustancias combustibles o inflamables, se recomienda tener en la sala de compresores y distintos puntos de la planta un extinguidor del tipo ABC, el cual funciona para extinguir materiales combustibles, líquidos inflamables y fuegos eléctricos, según normas de seguridad industrial.

CONCLUSIONES

1. Con el nuevo diseño de la red de aire comprimido, se deberá cubrir necesariamente la cantidad de aire a necesitar en la planta y por ende mejorar el servicio en calidad de presión y caudal necesario.
2. La red de tubería de aire comprimido se encuentra instalada según las necesidades que han surgido en distribuir aire a las máquinas y equipo que se ha instalado, en la actual red de aire se producen muchas pérdidas por fugas, debido a la vejez de la tubería y para lograr el mejoramiento de la red de aire se ha realizado el cálculo de tubería para el nuevo diseño.
3. Producir el aire comprimido requiere una inversión alta, por lo que se requiere tener el mayor cuidado posible con el uso y evitar desperdiciar el mismo en lo más mínimo posible, por lo tanto, se ha analizado las causas y efectos que provocan el tener una instalación de aire con dichas fallas.
4. La generación de aire comprimido con compresores funcionando independientemente en diferentes partes de la planta, da como resultado la inoperancia, ya que no permite tener un caudal constante para todo el equipo neumático, a esto se le añaden la mala instalación de tubería, las fugas que provocan pérdida de presión y baja eficiencia del equipo neumático.

5. Por lo tanto, se hace necesario instalar tres compresores recíprocos marca Kellogg – American en un solo lugar, funcionando de forma centralizada, para lo cual se ha escogido el área donde se encuentra ubicada la bodega de la planta de clavo y alambre.
6. Existen deficiencias en el mantenimiento que se realiza actualmente, ya que es de tipo correctivo y nos involucra la generación y distribución de aire comprimido, que son los compresores y todo lo concerniente a la red de tuberías, accesorios y elementos neumáticos de la maquinaria. De acuerdo con lo anterior, se propone un tipo de mantenimiento preventivo diario, semanal, mensual, trimestral, semestral y anual que conlleva un mejoramiento en el servicio del equipo neumático.
7. Se propone que sea el personal de mantenimiento mecánico de la planta de clavo y alambre, quien realice el mantenimiento de la generación y distribución de aire comprimido, ya que actualmente el mantenimiento de tipo correctivo lo realizan mecánicos de mantenimiento de toda la empresa y conlleva a que no se le preste la atención necesaria a dichas labores de mantenimiento, por tener que atender a otras plantas.
8. La seguridad industrial es elemental en el uso de aire comprimido, ya que es necesario que los trabajadores cuenten con todo el equipo de seguridad necesario, pues en la empresa hay medidas de seguridad que conlleva a tener un buen ambiente de trabajo.

RECOMENDACIONES

Al la jefatura de la planta de clavo y alambre

1. Se deben designar por lo menos a dos mecánicos del taller de mantenimiento mecánico, para que lleven a cabo las labores propuestas de mantenimiento preventivo en los compresores y la red de aire comprimido.
2. Se deben llevar a cabo cursos de capacitación para los mecánicos de mantenimiento, sobre el manejo y cuidado de la maquinaria y equipo neumático que conlleva evitar accidentes.
3. Se debe realizar un estudio completo cuando se tengan que hacer ampliaciones de la red de aire comprimido, propuesta a la hora de traer nueva maquinaria y equipo y por ende evitar que se sobrepase la capacidad de los compresores y el diámetro de la tubería propuesto.
4. Los tres compresores que se tiene planificado instalar actualmente son del tipo reciprocante, ya tienen varios años de estar funcionando en la planta y se encuentran en buenas condiciones, pero hay que tomar en cuenta que toda máquina lleva un proceso de vida útil por lo que se hace necesario prever adquirir, a mediano y largo plazo compresores con tecnología de punta.

En el mercado se encuentran los compresores de tornillo de diferentes marcas y esto conlleva a mejorar la eficiencia en la producción de aire comprimido y por ende la productividad de la planta de clavo y alambre.

Al personal de mantenimiento mecánico

1. Llevar un estricto control de los programas de mantenimiento de los compresores, que permita aprovechar al máximo su caudal de aire generado.
2. Se hace necesario cumplir con el programa de mantenimiento que involucra las purgas diarias en el depósito de aire, y las unidades de mantenimiento que se encuentran ubicadas en la instalación de tuberías de aire comprimido.
3. Es importante que se lleve a cabo, cada vez que se ponga a trabajar las unidades compresoras, una revisión del estado de las mismas, que implica ver la presión a la cual se está trabajando, también verificar la presión de servicio en la maquinaria y equipo neumático.

BIBLIOGRAFÍA

1. Barranco González, Carlos Estuardo. Rediseño de la red de aire comprimido de la planta No. 2 de la fábrica Textiles Del Lago S.A., Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2001. 68 pp.
2. Carnicer Royo, Enrique. **Teoría y cálculo de las instalaciones**. Madrid: editorial Paraninfo, S.A., 1991. 291 pp.
3. Fajardo Ramírez, Publio Licinio. Mejoramiento de la productividad de la sección de trefilación. Tesis Ing. Mec. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2003. 83 pp.
4. Ingersoll Rand. Manual de compresores, 1995. 10 pp.
5. Majumdar, S.R. **Sistemas neumáticos, principios y mantenimiento**. México, D.F: Editorial McGraw Hill Interamericana, S.A. 1998. 291pp.
6. Manual del propietario, Operación, mantenimiento, instrucciones y lista de partes. CompAir Kellogg American. 8 pp.
7. Sullair Compressors. Energy saving solution. Editorial Sullair Corporation, 2001, 15 pp.

ANEXOS

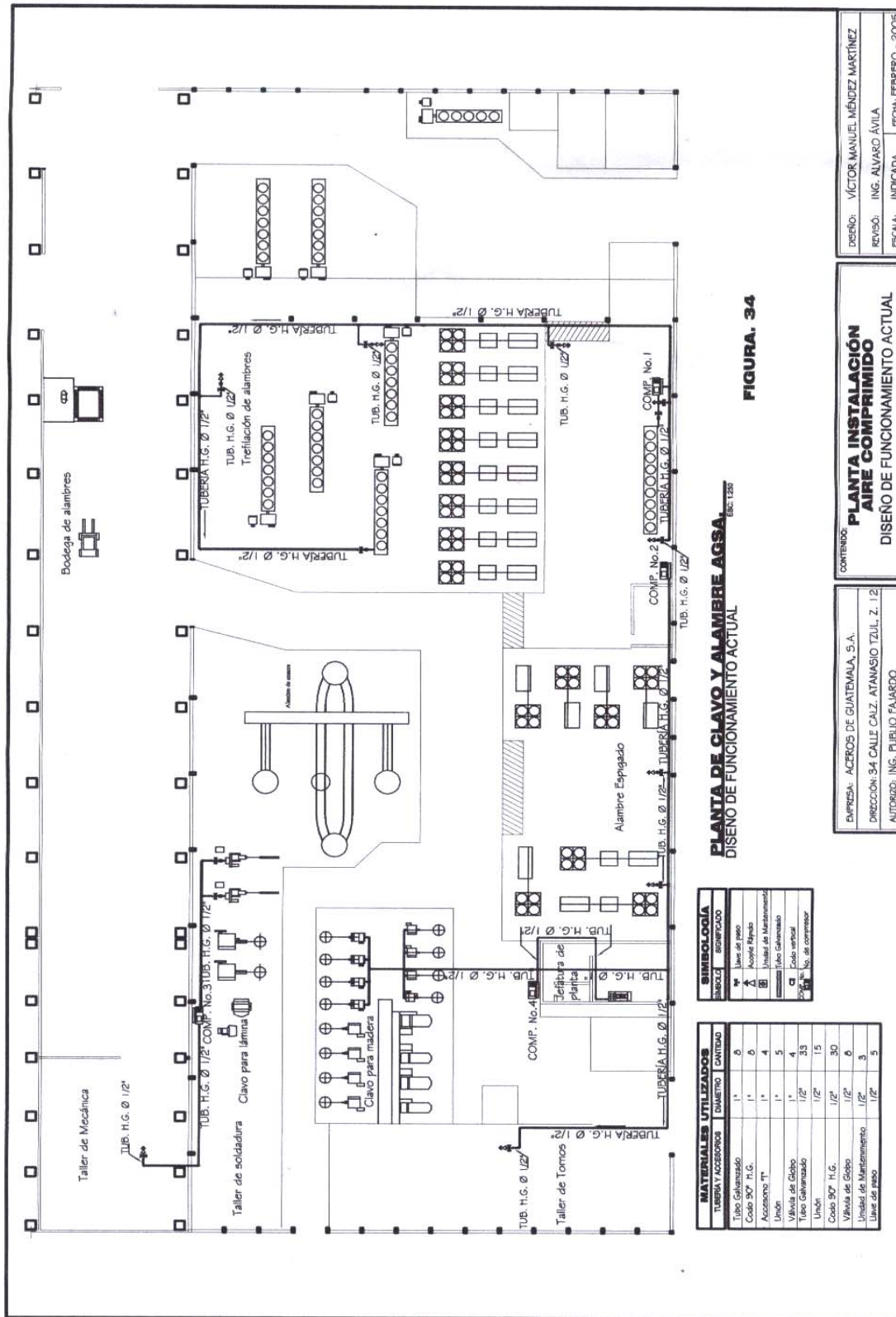


FIGURA. 34

PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE AGSA
 DISEÑO DE FUNCIONAMIENTO ACTUAL

SIMBOLOGÍA

Simbolo	Descripción
W	Llave de paso
A	Accesorio rápido
B	Unidad de Mantenimiento
C	Tubo Galvanizado
D	Codo vertical
E	Unidad No. de compresor

MATERIALES UTILIZADOS

TUBERIA ACCESORIOS	DIAMETRO	CANTIDAD
Tubo Galvanizado	1"	0
Codo 90° H.G.	1"	0
Accesorio "T"	1"	4
Unión	1"	5
Válvula de Globo	1/2"	4
Tubo Galvanizado	1/2"	33
Unión	1/2"	15
Codo 90° H.G.	1/2"	30
Válvula de Globo	1/2"	0
Unidad de Mantenimiento	1/2"	3
Llave de paso	1/2"	5

DISEÑO: VÍCTOR MANUEL MÉNDEZ MARTÍNEZ
 REVISÓ: ING. ALVARO ÁVILA
 ESCALA: INDICADA FECHA: FEBRERO - 2005

**PLANTA INSTALACIÓN
 AIRE COMPRIMIDO**
 DISEÑO DE FUNCIONAMIENTO ACTUAL

EMPRESA: ACEROS DE GUATEMALA, S.A.
 DIRECCIÓN: 34 CALLE CALZ. ATANASIO TZUL, Z. 12
 AUTORIDAD: ING. PABLO FAJARDO

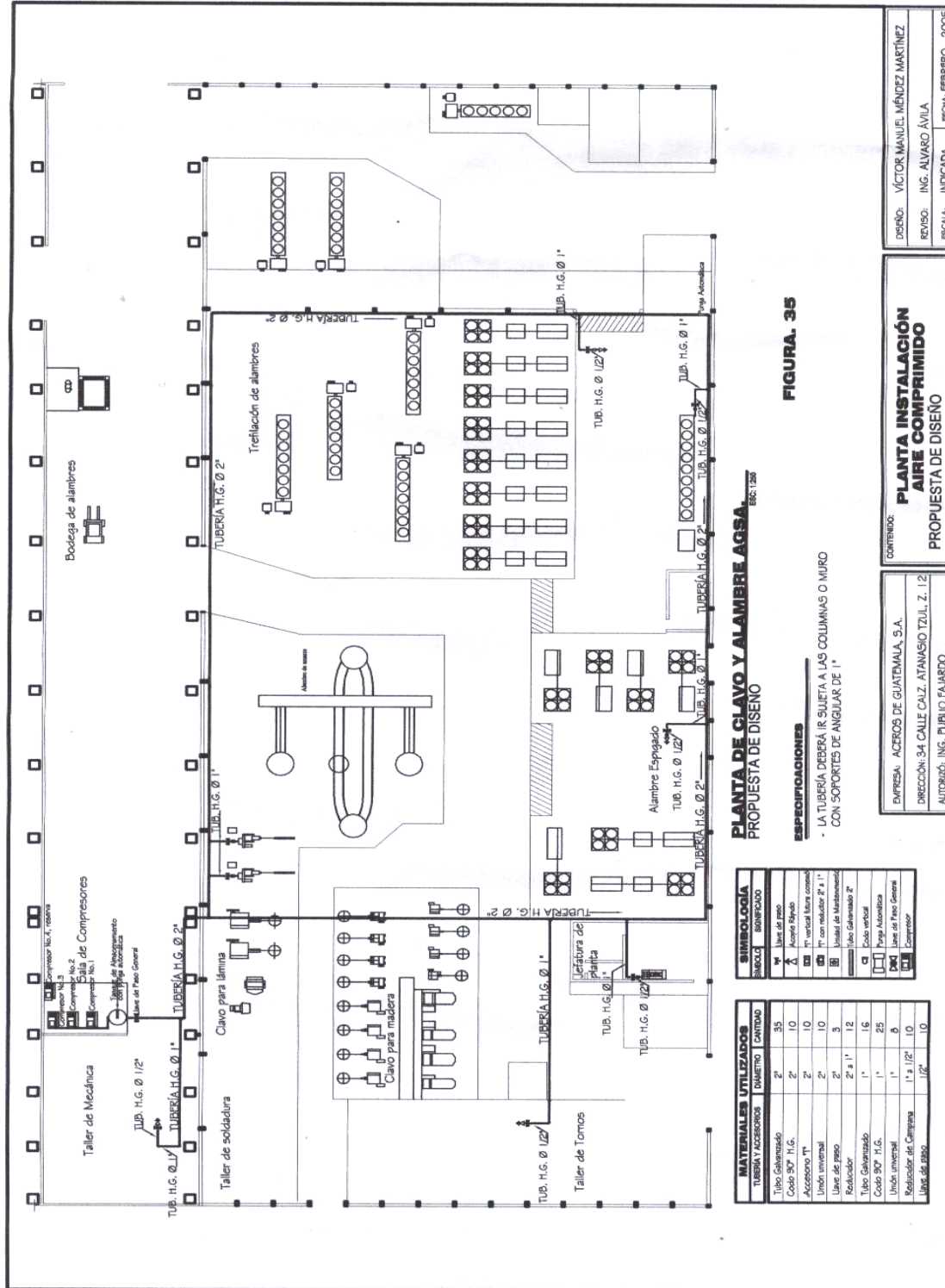


FIGURA. 35

PLANTA DE CLAVO Y ALAMBRE AGSA.
 PROPUESTA DE DISEÑO

ESPECIFICACIONES

- LA TUBERÍA DEBERÁ IR SUJETA A LAS COLUMNAS O MURO CON SOPORTES DE ANGULAR DE 1"

SIMBOLOGIA	
SEÑALO	DEFINICION
—	Línea de paso
▲	Acople Espigado
□	Unión vertical flange cono
○	Unión horizontal flange cono
⊕	Unidad de Mantenimiento
⊖	Unidad de Mantenimiento
⊗	Tubo galvanizado 2"
⊙	Codo vertical
⊚	Purga Automática
⊛	Llave de Paso General
⊜	Compressor

MATERIALES UTILIZADOS		
TUBERIA Y ACCESORIOS	DIAMETRO	CANTIDAD
Tubo Galvanizado	2"	35
Codo 90° H.G.	2"	10
Accesorio 1"	2"	10
Unión universal	2"	10
Llave de paso	2"	3
Reductor	2" x 1"	12
Tubo Galvanizado	1"	16
Codo 90° H.G.	1"	25
Unión universal	1"	10
Reductor de Cargara	1" x 1/2"	10
Llave de paso	1/2"	10

CONTRATADO: EMPRESA: ACEROS DE GUATEMALA, S.A.
 DIRECCION: 34 CALLE CALZ. ATANASIO TZULUZ. 12
 AUTORES: ING. FUBILO FAJARDO

COMPROBADO: **PLANTA INSTALACION**
AIRE COMPRIMIDO
 PROPUESTA DE DISEÑO

DISENO: VICTOR MANUEL MENDEZ MARTINEZ
 REVISO: ING. ALVARO AVILA
 ESCALA: INDICADA
 FECHA: FEBRERO - 2005