



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

**DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN  
“DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA”.**

**Edwin Manolo Tock Amézquita**

Asesorado por el Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez

Guatemala, octubre de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN  
"DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA".**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

**EDWIN MANOLO TOCK AMÉZQUITA**

ASESORADO POR EL ING. PABLO RODOLFO ZÚÑIGA RAMÍREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Milton De León Bran
VOCAL V	Br. Isaac Sultan Mejía
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

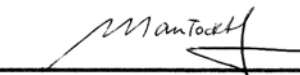
DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Luis Alfredo Asturias Zúñiga
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **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:

### **DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN "DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA",**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, el 30 de octubre de 2006.



---

**Edwin Manolo Tock Amézquita**

Guatemala, 11 de julio de 2008.

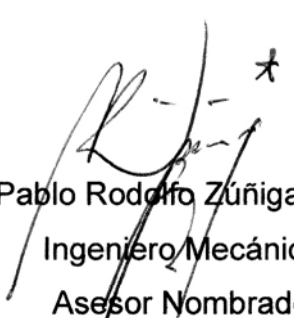
Ingeniero José Francisco Gómez Rivera  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala  
Presente

Estimado Ingeniero Gómez:

Por medio de la presente informo a usted que he asesorado el trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA**, mismo que fuera elaborado por el estudiante Edwin Manolo Tock Amézquita previo a optar al título de Ingeniero Mecánico Industrial

El trabajo presentado por el estudiante Edwin Manolo Tock Amézquita, cumple con los objetivos para el desarrollo del mismo y después de revisado le doy la aprobación correspondiente y me constituyo corresponsable con el autor de su contenido.

Atentamente,



Ing. Pablo Rodolfo Zúñiga Ramírez  
Ingeniero Mecánico  
Asesor Nombrado  
Colegiado No. 5050

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Manolo Tock Amézquita**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Inga. Miriam Patricia Rubio de Akú  
Catedrática Revisora de Trabajos de Graduación  
Escuela Mecánica Industrial

Guatemala, septiembre de 2008.

**MIRIAM PATRICIA RUBIO CONTRERAS**  
**INGENIERA INDUSTRIAL**  
COL. No. 4,074

/mgp

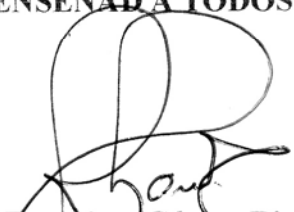
**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERIA**

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN “DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA”**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Manolo Tock Amézquita**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

**ID Y ENSEÑADA TODOS**

  
**Ing. José Francisco Gómez Rivera**  
**DIRECTOR**

**Escuela Mecánica Industrial**



Guatemala, octubre de 2008.

/mgp

Universidad de San Carlos  
De Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.352.2008

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 Industrial, al trabajo de graduación titulado: **DISEÑO Y MANTENIMIENTO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO EN "DELGADO IMPRESOS Y COMPAÑÍA LIMITADA"**, presentado por el estudiante universitario **Edwin Manolo Tock Amézquita**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, appearing to read 'Murphy Olympo Paiz Recinos', written over a large, empty oval shape.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
DECANO



Guatemala, octubre de 2008.

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>DIOS</b>	Por regalarme la vida y ser siempre mi guía.
<b>VIRGEN MARÍA</b>	Por protegerme con su manto e interceder por mí.
<b>MIS PADRES</b>	Manuel Antonio y Flora Argentina, por apoyarme siempre incondicionalmente e instarme a seguir adelante.
<b>MI ESPOSA</b>	Corina, con todo mi amor y por estar a mi lado en los buenos y malos momentos.
<b>MI HERMANO</b>	Fernando, por todos sus consejos y cariño.
<b>MI FAMILIA</b>	Quienes de una u otra forma contribuyeron, de manera directa o indirecta, a la culminación de ésta etapa.
<b>MIS AMIGOS</b>	Por todos los momentos que compartimos juntos.
<b>LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA</b>	Por prepararme y forjarme para un buen desempeño en mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO ESPECIAL A:**

**Delgado Impresos y**

**Compañía Ltda.**

Por darme la oportunidad de desarrollar éste proyecto.

**Mi asesor**

Ing. Pablo Zúñiga, por su guía y motivación en el desarrollo de este proyecto.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	<b>XI</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>XIII</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XV</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>XVII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>XIX</b>
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>1</b>
1.1. Generalidades de Delgado Impresos	1
1.1.1. Historia	1
1.1.2. Ubicación	2
1.1.3. Misión	2
1.1.4. Visión	3
1.1.5. Organización	3
1.1.6. Servicios	4
1.2. Generalidades del aire comprimido	4
1.2.1. Evolución	4
1.2.2. Propiedades	5
1.2.3. Fundamentos físicos	6
1.3. El Ruido	9
1.3.1. Definición	9
1.3.2. Tipos de ruido	11
<b>2. EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>13</b>
2.1. Análisis de ruidos en la planta	13



3.2.1.1.2. Compresores alternativos de diafragma	35
3.2.1.1.3. Compresores rotativos	36
3.2.1.1.3.1. Compresores de aletas	37
3.2.1.1.3.2. Compresores de anillo líquido	38
3.2.1.1.4. Compresores de tornillo	38
3.2.1.1.5. Compresores de lóbulos rectos	39
3.2.1.2. Dinámicos	40
3.2.1.2.1. Centrífugos	41
3.2.1.2.2. Axiales	41
3.3. Tratamiento del aire comprimido	42
3.3.1. Tratamiento del aire en la salida del compresor	42
3.3.1.1. Secado por absorción	45
3.3.1.2. Secado por adsorción	46
3.3.1.3. Secado por enfriamiento	47
3.3.2. Tratamiento del aire en las redes de distribución	49
3.3.3. Tratamiento del aire en las máquinas a utilizar	50
3.3.3.1. Unidad de mantenimiento	50
3.4. Redes de distribución del aire comprimido	53
3.4.1. Elementos de conducción	53
3.4.1.1. Tuberías	53
3.4.1.1.1. Tipos	53
3.4.1.1.1.1. Tubería principal o madre	53
3.4.1.1.1.2. Tubería secundaria	53
3.4.1.1.1.3. Tubería de servicio	53
3.4.1.1.2. Materiales	54
3.4.1.2. Mangueras	55
3.4.2. Válvulas	55

3.4.2.1. Válvulas de abastecimiento	55
3.4.2.1.1. Válvulas de compuerta	56
3.4.2.1.2. Válvulas de globo	56
3.4.2.1.3. Válvulas de diafragma	56
3.4.2.2. Válvulas de seguridad	56
3.4.3. Accesorios	57
<b>4. IMPLEMENTACIÓN O DISEÑO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO</b>	<b>59</b>
4.1. Cálculos de consumo de aire	59
4.1.1. Determinación del flujo máximo	59
4.1.2. Determinación de la presión máxima	59
4.2. Distribución del aire comprimido	60
4.2.1. Tuberías	60
4.2.1.1. Dimensionado	60
4.2.1.2. Material	64
4.2.2. Diseño del tendido de la red de aire comprimido	65
4.2.3. Uniones	67
4.3. Elección del tipo de compresor	68
4.4. Elección de los elementos de tratamiento de aire	68
<b>5. MEJORA CONTINUA DEL MANTENIMIENTO</b>	<b>73</b>
5.1. Mantenimiento de una red de aire comprimido	73
5.1.1. Tuberías y accesorios	73
5.1.1.1. Detección de fugas	73
5.1.1.2. Limpieza	74
5.1.1.2.1. En unidades de mantenimiento	74







# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema organizacional de Delgado Impresos	3
2.	Esquema de presiones	7
3.	Representación de amplitud y período del sonido	10
4.	Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito abierto	27
5.	Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito cerrado	28
6.	Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito mixto	29
7.	Esquema de mecanismo de un compresor de pistón	30
8.	Diagrama teórico de un compresor alternativo	31
9.	Diagrama real de un compresor alternativo	32
10.	Esquema de mecanismo de compresor de diafragma	36
11.	Esquema de mecanismo de compresor de aletas	37
12.	Esquema de mecanismo de compresor de tornillo	39
13.	Esquema de mecanismo de compresor de lóbulos rectos	40
14.	Esquema de mecanismo de compresor centrífugo	41
15.	Esquema de mecanismo de compresor de axial	42
16.	Saturación del aire en función de la temperatura	44
17.	Esquema de un secador por absorción	46
18.	Esquema de un secador por adsorción	47
19.	Esquema de un secador por enfriamiento	48
20.	Representación de una purga de una red de aire comprimido	49
21.	Unidad de mantenimiento	51
22.	Símbolo de la unidad de mantenimiento	51

23.	Diagrama de pérdidas de presión frente a caudal de aire	52
24.	Accesorios de una red de aire comprimido	57
25.	Esquema de unión soldada en tubería de red de aire comprimido	65
26.	Diagrama de distribución de red de aire comprimido en planta de Delgado Impresos	66
27.	Racores utilizados en una red de aire comprimido	67
28.	Acoplamientos utilizados en una red de aire comprimido	67
29.	Purga automática instalada	70
30.	Filtros de agua y aceite instalados	71
31.	Vista general de la central generadora de aire comprimido	71
32.	Correcta posición de la herramienta neumática	84
33.	Colocación de herramienta neumática fija	85
34.	Sonómetro utilizado para las mediciones de sonido	97
35.	Máquina impresora de cuatro colores ADAST 745	97
36.	Máquina impresora de dos colores Shinohara	98
37.	Mecanismo neumático de impresora ADAST 745	98
38.	Guillotina trilateral	99

## TABLAS

I.	Mediciones de nivel sonoro en planta	19
II.	Intervalos de confianza al 95%	20
III.	Costos de repuestos dañados	23
IV.	Costos de materia prima dañada	24
V.	Resumen de análisis de costos	26
VI.	Factores para el cálculo de pérdida de presión, debida a la fricción en tuberías (diámetro nominal en pulgadas)	61
VII.	Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería	62
VIII.	Datos de secadores de aire Kaeser	69
IX.	Elección del tipo de secador adecuado	70
X.	Problemas y posibles causas en el compresor	75
XI.	Mediciones de nivel sonoro en planta luego de modificación	87



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>%</b>	porcentaje
$\rho$	densidad
$\varphi$	humedad relativa
<b>dB</b>	decibeles
<b>Leq</b>	nivel sonoro equivalente
$\Sigma$	sumatoria
$\leq$	menor o igual a
<b>Q.</b>	quetzales
<b>°K</b>	grados kelvin
<b>°C</b>	grados centígrados
<b>m<sup>3</sup></b>	metros cúbicos
<b>p<sup>3</sup></b>	pies cúbicos
<b>h</b>	hora
<b>min.</b>	minuto
<b>PSI</b>	libras por pulgada cuadrada



## GLOSARIO

<b>Alabe</b>	Cada una de las paletas curvas de la turbina que reciben el impulso del fluido.
<b>Barniz UV</b>	Recubrimiento que se le aplica a portadas de libros, afiches, etc., para darle una apariencia brillante. Luego de la aplicación, el barniz se seca con rayos ultra violeta.
<b>Biela</b>	En las máquinas, barra que sirve para transformar el movimiento de vaivén en otro de rotación, o viceversa.
<b>Cárter</b>	En los automóviles y otras máquinas, pieza o conjunto de piezas que protege determinados mecanismos, y a veces contiene el lubricante.
<b>Cigüeñal</b>	Eje con codos que transforma un movimiento rectilíneo en circular.
<b>Decibelio</b>	Unidad empleada para expresar la relación entre dos potencias eléctricas o acústicas; es diez veces el logaritmo decimal de su relación numérica.
<b>Ktesibios</b>	Griego, que hace más de dos mil años construyó una catapulta de aire comprimido,

iniciando posiblemente con uso del mismo como fluido de trabajo.

**Litografía**

Arte de dibujar o grabar en piedra preparada al efecto, para reproducir, mediante impresión, lo dibujado o grabado.

**Prensa**

Máquina donde se imprimen textos, revistas, etc.

**Purga**

Residuos o condensados que en algunas operaciones industriales o en los artefactos, se acumulan y se han de eliminar o expeler.

**Sordera ocupacional**

Sordera producida por estar una persona expuesta a ruido durante la jornada laboral a través de un determinado tiempo.

**Sonido desagradable**

Sonidos que no producen daño al ser humano pero sí son molestos, dependiendo de la percepción de cada persona.

**Tinnitus**

Efecto auditivo provocado por la exposición al ruido caracterizado por una falsa sensación de sonido.



## RESUMEN

El presente trabajo de graduación se hizo en Delgado Impresos y Compañía Ltda., y consistió en el diseño de una red de aire comprimido para lo cual se desarrollaron cinco capítulos como se describe a continuación.

En el capítulo uno se analiza el entorno en general de la empresa en la que se llevará a cabo el estudio, su historia, misión, visión etc., la evolución y fundamentos físicos del aire comprimido y los conceptos básicos de ruido para tener una mejor visión de los temas que se trataran en los siguientes capítulos.

En el capítulo dos se presenta un análisis completo de todos los problemas y los costos en que se incurre al no diseñar una nueva red de aire comprimido.

En el capítulo tres se mencionan todos los elementos que se necesitan para poder montar toda la nueva red de aire comprimido dentro de la empresa, desde su producción, tratamiento y distribución.

En el capítulo cuatro se hacen todos los cálculos y se toman en cuenta las recomendaciones necesarias para poder diseñar una red de aire comprimido acorde a las necesidades que tenga la empresa.

En el capítulo cinco se elabora un plan de mantenimiento para todos los elementos de la red de aire comprimido que se montará y se medidas preventivas de seguridad que se deben de seguir al momento de la instalación, antes, durante y luego de terminar un trabajo utilizando el aire comprimido. Además se presentan los resultados que se obtuvieron en este estudio.



## OBJETIVOS

- **General:**

Diseñar una red de aire comprimido que proporcione un aire sin condensados ni contaminantes que afecten a todos los elementos neumáticos de las máquinas, dentro del proceso litográfico de “Delgado Impresos”.

- **Específicos:**

1. Analizar la situación actual del aire comprimido dentro de la empresa.
2. Identificar los problemas que se provocan al no diseñar una red de aire comprimido en la planta.
3. Determinar cuáles son los elementos necesarios para diseñar una red de aire comprimido.
4. Instalar la red de aire comprimido de acuerdo a patrones y estándares establecidos.
5. Implementar un plan de mantenimiento de la red de aire comprimido para que la misma esté disponible en cualquier momento requerido por la demanda de producción.
6. Reducir los costos asociados a la falta de tratamiento de aire comprimido.
7. Lograr que los trabajadores tengan un ambiente laboral confortable, con el fin de evitar enfermedades ocupacionales y elevar la producción.



## INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es de vital importancia y de uso muy generalizado en la mayoría de las industrias, debido a que el fluido de trabajo que utiliza es abundante, gratuito y fácil de obtener, sin embargo, cuando se requiere diseñar una red de aire comprimido se necesita un estudio minucioso y detallado de cada uno de sus elementos.

En Delgado Impresos, que es la litografía donde se llevará a cabo el presente trabajo de graduación, el aire comprimido se utiliza para accionar elementos neumáticos en las prensas, guillotinas, cámaras de despintado de piezas, limpieza de componentes de la maquinaria, etc.

Entre los problemas que se tienen en la actualidad, se pueden considerar los siguientes:

- Elevados costos para la empresa, debido a que los elementos neumáticos de las máquinas sufren daños y deben ser reemplazados porque no se cuenta con un tratamiento adecuado del aire, paros en la producción, pérdida de materiales, entre otros.
- Excesivo ruido de los compresores dentro del taller, que dificulta la concentración de los trabajadores y puede ocasionar enfermedades ocupacionales además de un accidente que derive también en retrasos en la producción, pérdidas de materiales, amputación de uno de sus miembros corporales y en el peor de los casos la misma muerte.

El propósito del presente trabajo de graduación, es diseñar una red de aire comprimido que contemple el tratamiento debido del aire a lo largo del trayecto de la misma, para que las máquinas reciban un aire libre de impurezas y sin humedad para minimizar costos, y al mismo tiempo tenga contemplado llevar el aire desde un sitio externo de la planta al respectivo lugar de trabajo, para evitar el ruido excesivo de los compresores.

## **1. ANTECEDENTES GENERALES**

### **1.1. Generalidades de Delgado Impresos**

A continuación se presentan datos importantes para conocer la empresa donde se realizará el diseño de la red de aire comprimido.

#### **1.1.1. Historia**

La empresa fue fundada en el año de 1971 por el señor Víctor Hugo Delgado Paz (+), iniciando sus labores en la zona 1, en las cercanías de la Municipalidad de Guatemala, trasladándose luego a la 14 calle 12-37 int. 30 de la zona 1. Finalmente, en el año 1992, se trasladó a su actual ubicación en la 38 avenida 4-41 zona 7, La Floresta, siempre en la ciudad de Guatemala. En el principio no había una línea de trabajo definida, se trabajaban principalmente papelerías, tarjetas y algunos trabajos de tipo publicitario.

Se comenzó como cualquier otra imprenta pequeña, con una máquina impresora que sólo podía imprimir formatos doble carta (11"X 17"), una guillotina de papel manual (30"), una máquina tarjetera y unos pocos accesorios. El capital para empezar la empresa provino del trabajo de 15 años del señor Víctor Hugo Delgado Paz en la iniciativa privada y del arrendamiento de la maquinaria por una persona particular. Al poco tiempo se unió como socio el señor Antonio Altuna, aportando el terreno de la 14 calle. Esta sociedad tuvo una duración de diez años, al final de los mismos, el señor Altuna se retiró de la empresa vendiendo su parte al señor Delgado Paz. Con el pasar de los años, la empresa fue adquiriendo experiencia y prestigio en lo que era la impresión de revistas, periódicos y libros.

La empresa se encuentra dirigida actualmente por la esposa del señor Delgado Paz y por sus dos hijos, que componen la Junta Directiva. Las revistas, periódicos y libros, son esencialmente los componentes de la línea de productos que maneja hoy la empresa. Tiene la capacidad de manejar desde volúmenes pequeños hasta intermedios (500 y 100,000 ejemplares por orden de producción) de unas 20 órdenes de producción al mismo tiempo. En la actualidad cuenta con 41 empleados en el área de producción, se manejan formatos de impresión de hasta 19" x 26" impresos a la cantidad de colores que requiera la orden. Se tiene la capacidad instalada para transformar 50 toneladas de papel en blanco a papel impreso.

### **1.1.2. Ubicación**

Actualmente, Delgado Impresos & Cía. Ltda., está ubicada en la ciudad de Guatemala, en la 38 avenida 4-41 zona 7, La Floresta. Cuenta con una planta de dos niveles con un área de 26.445m. X 25.60m. (676m<sup>2</sup>), un parqueo en la parte frontal y zona de carga y descarga de materia prima y producto terminado en el ala derecha del edificio. En el primer nivel se encuentra el departamento de producción y bodega. En el segundo nivel se encuentran las oficinas administrativas, el departamento de diseño y fotomecánica, así como otra zona de almacenaje.

### **1.1.3. Misión**

La empresa Delgado Impresos y Compañía Ltda., tiene como misión facilitar la comunicación por medio de servicios en la industria de las artes gráficas, trabajando con alto grado de ética, responsabilidad y compromiso. Además, involucra a sus clientes con una relación personalizada de apertura y flexibilidad que conduce a la excelencia en el servicio, obteniendo mejoras



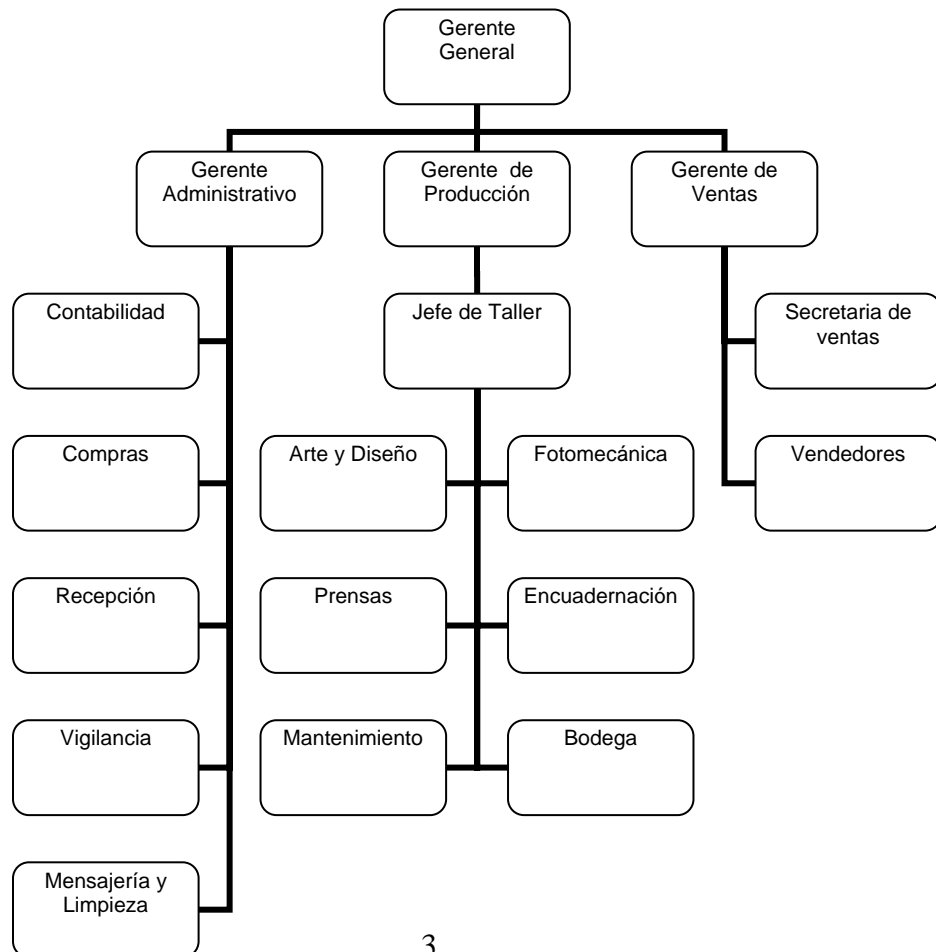
continuas en el nivel de vida de los miembros de la organización, llegando a ser un equipo con calidad humana que trabaja con entusiasmo, honestidad y lealtad.

#### 1.1.4. Visión

Ser líderes en la industria de las artes gráficas, en el servicio eficaz y eficiente con nuestros clientes internos y externos, para ser una empresa rentable.

#### 1.1.5. Organización

**Figura 1. Esquema organizacional de Delgado Impresos**



### **1.1.6. Servicios**

Dentro de los servicios que la empresa ofrece se encuentran el diseño e impresión de textos, revistas, periódicos, cuadernos, agendas, anuarios, calendarios, afiches, tarjetas de presentación, folletos, entre otros productos litográficos. Además, se realizan trabajos a otras litografías de cortes iniciales y finales, dobleces especiales, aplicación de barniz UV, pegado en caliente de libros, etc.

## **1.2. Generalidades del aire comprimido**

A continuación se presentan definiciones importantes que se deben entender para diseñar una red de aire comprimido.

### **1.2.1. Evolución**

El aire ha sido utilizado por el hombre desde tiempos prehistóricos para conseguir un fin útil, cuando ya se le empezaba a utilizar como una ayuda para encender el fuego. El primero que se tiene conocimiento que empezó a utilizar el aire comprimido fue el griego Ktesibios, cuando hace más de dos mil años construyó una catapulta de aire comprimido. La misma palabra neumática, que trata de los movimientos y procesos del aire, deriva de la expresión griega "*pneuma*" que significa respiración, viento o alma.

Pero aunque el hombre ha vivido desde tiempos remotos en constante relación con la utilización del aire, no fue sino hasta el siglo pasado, cuando ya se empezó a estudiar la neumática como una ciencia y su verdadera aplicación en el ramo industrial, por lo que podemos decir que es una ciencia bastante joven.

Actualmente, la mayoría de las industrias cuentan con procesos automatizados que utilizan el aire comprimido como una forma de energía, y sus investigaciones sobre el campo de aplicaciones no han cesado aún.

### **1.2.2. Propiedades**

Entre las propiedades del aire comprimido podemos mencionar las siguientes:

- El aire, que es el fluido de trabajo que utiliza, es abundante.
- Se puede obtener con facilidad en cualquier parte del mundo y en forma gratuita.
- El aire comprimido puede ser transportado fácilmente por tuberías.
- Se puede almacenar el aire en depósitos o acumuladores, para tomarlo de los mismos en el momento que sea necesario y evitar así que el compresor permanezca activo durante toda la jornada laboral.
- No es sensible a cambios de temperatura y se puede trabajar con seguridad a temperaturas extremas.
- No es inflamable, no posee propiedades explosivas, por lo que no existe riesgo alguno de trabajos que produzcan chispas.
- Es limpio, se puede utilizar en industrias que requieran un grado alto de limpieza como la farmacéutica o alimenticia con total confianza.
- Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas en los actuadores.

### 1.2.3. Fundamentos físicos

Existen fundamentos físicos y conceptos básicos que se utilizan cuando se diseñan y se utilizan sistemas de aire comprimido, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Aire: el aire es un gas incoloro, que no tiene sabor ni olor y es indispensable para la vida sobre la tierra que se compone esencialmente de Nitrógeno en un 78% de su volumen y Oxígeno en un 21%. El 1% restante lo componen gases como el Argón, Bióxido de Carbono, Hidrógeno, Xenón, entre otros gases.

El aire puede ser húmedo y seco. Se dice que un aire es húmedo cuando dentro de su composición se encuentra el vapor de agua en cantidades considerables. Por el contrario, el aire seco posee una cantidad nula o casi despreciable de vapor de agua.

- Presión: está definida como una fuerza aplicada por unidad de área ( $P=F/A$ ), distinguiéndose varios tipos de presiones.

La primera, es la presión atmosférica, que viene dada por el peso que ejerce la columna de aire que se encuentra sobre la superficie de la tierra. Ésta presión varía de acuerdo a la altitud, ya que una superficie sobre el nivel del mar tendrá una columna de aire mayor sobre ella que una superficie que esté en una montaña a 3000 m. sobre el nivel del mar.

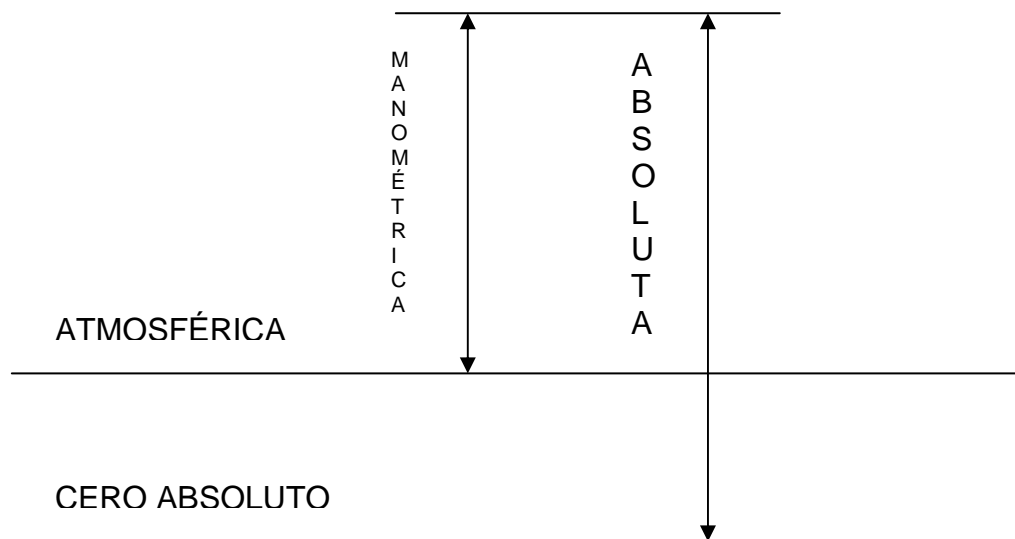
La presión manométrica es la presión que se registra dentro de un sistema y nos da la presión que está por debajo o por encima de la presión atmosférica.

La presión absoluta está definida como la suma algebraica de la presión atmosférica y la presión manométrica, para lo cual se define un cero absoluto.

$$P_{ABS} = P_{ATM} + P_{MAN}$$

Se puede ver en el siguiente esquema la relación de todos los tipos de presiones:

**Figura 2. Esquema de presiones<sup>1</sup>**



- Volumen (V): se puede definir como el lugar que ocupa todo cuerpo en el espacio.
- Volumen específico ( $V_s$ ): es la relación entre el volumen de un cuerpo y su masa.

$$V_s = \frac{V}{m}$$

<sup>1</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

- Densidad ( $\rho$ ): es la relación entre la masa de un cuerpo y su volumen, o también, puede definirse como el inverso del volumen específico.

$$\rho = \frac{V}{m} = \frac{1}{V_s}$$

- Humedad específica ( $w$ ): se define como el cociente de la masa de vapor de agua presente en el aire ambiental entre la masa de aire seco.
- Humedad relativa ( $\phi$ ): es la relación entre la presión parcial del vapor de agua en la mezcla y la presión de saturación. Para fines prácticos, se puede definir como la relación entre la cantidad total de vapor de agua contenida en un volumen de aire y la cantidad máxima posible de vapor de agua que podría contenerse en el mismo volumen, bajo las mismas condiciones de presión y temperatura.

$$\phi = \frac{P_v}{P_g} = \frac{X}{X_s}$$

Donde:  $\phi$  = Humedad relativa

$P_v$  = Presión de vapor de agua

$P_g$  = Presión de saturación

$X$  = Cantidad de vapor en la mezcla

$X_s$  = Cantidad que podría contenerse en condiciones de saturación.

- Ley de Boyle-Mariotte: el aire tiene la capacidad de comprimirse y de expandirse; toma la forma del recipiente que lo contenga o la de su ambiente.

Existe una ley que rige este fenómeno que se llama la Ley de Boyle-Mariotte, la cual dice que a temperatura constante, el volumen de un gas encerrado en un recipiente es inversamente proporcional a la presión absoluta, o sea, el producto de la presión absoluta y el volumen es constante para una cantidad determinada de gas.

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = \text{constante}$$

- Ley de Gay Lussac: Esta ley demuestra que si la presión permanece constante y la temperatura se eleva 1 °K, partiendo de 273 °K, el aire se dilata 1/273 de su volumen.

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

Donde:  $V_1$  = Volumen a la temperatura  $T_1$

$V_2$  = Volumen a la temperatura  $T_2$

- Ecuación de los gases:

$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \text{constante}$$

### 1.3. El ruido

#### 1.3.1. Definición

Para entender la forma en que el ruido hace daño al ser humano es importante conocer algunos aspectos de la física del sonido: es una sensación que se produce en el órgano del oído por el movimiento vibratorio de los

cuerpos. Efecto de la propagación de las ondas producidas por cambios de densidad y presión en los medios materiales, y en especial el que es audible.

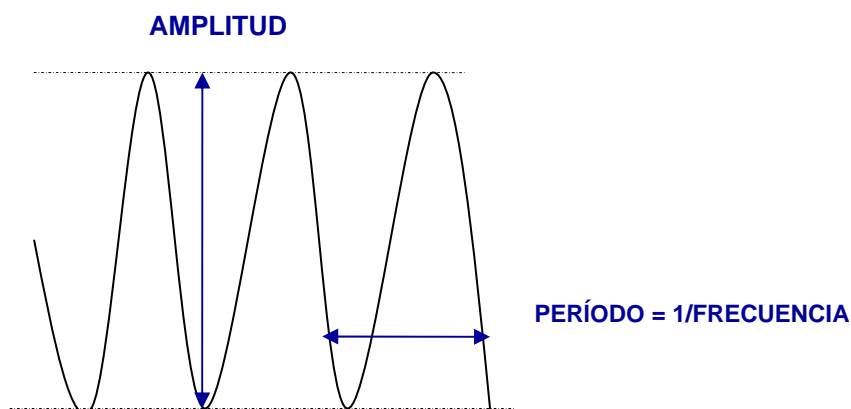
El sonido es un fenómeno esencialmente oscilatorio, y para que se presente requiere de tres elementos:

- Una partícula (moléculas)
- Un medio elástico (aire, agua, etc.)
- Una fuerza perturbadora (mecánica)

Este movimiento oscilatorio se caracteriza por tener básicamente dos componentes:

- Una intensidad o amplitud (medible en pascales,  $N/m^2$  o en db) = i
- Una frecuencia (medible en hertz)= p

**Figura 3. Representación de amplitud y período del sonido<sup>2</sup>**



Existen varias definiciones de RUIDO, entre ellas están las siguientes:

---

<sup>2</sup> Figura tomada del artículo del Dr. José Luis Vallejo González, [www.estructuplanonline.com](http://www.estructuplanonline.com)



- Es un sonido desagradable o molesto, generalmente aleatorio que no tiene componentes bien definidos.
- Es todo sonido que causa molestias, interfiere con el sueño, trabajo o que lesione o dañe física o psicológicamente al individuo, la flora y la fauna.
- Son los sonidos cuyos niveles de presión acústica o intensidad en combinación con el tiempo de exposición de los trabajadores a ellos, pueden ser nocivos a su salud o bienestar

El ruido es aquel sonido que por sus características de intensidad mayor de 85 dB y frecuencia entre 1000 y 3000 htz., causan daño al ser humano, mientras que aquellos sonidos que no tienen esas características, que no dañan al hombre pero que si son molestos se consideran como “sonidos desagradables”.

### **1.3.2. Tipos de ruido**

- Ruido constante: es aquel cuyo nivel de presión sonora no varía en más de cinco dB durante las ocho horas laborables.
- Ruido fluctuante: ruido cuya presión sonora varía continuamente y en apreciable extensión, durante el período de observación.
- Ruido intermitente: es aquel cuyo nivel de presión sonora disminuye repentinamente hasta el nivel de ruido de fondo, varias veces durante el período de observación, el tiempo durante el cual se mantiene a un nivel superior al ruido de fondo es de un (1) segundo o más.

- Ruido impulsivo: es aquel que fluctúa en una razón extremadamente grande (más de 35 dB) en tiempos menores de un segundo.

En la práctica, el ruido se presenta como una mezcla de todos tipos, por ello para fines prácticos se recomienda utilizar el nivel sonoro equivalente ( $L_{eq}$ ), el cual representa en un nivel de presión de sonido continuo constante la misma cantidad de energía sonora que el sonido continuo fluctuante medio durante el mismo período. Excepcionalmente en el ruido impulsivo, el criterio de mayor importancia es el valor pico, y por lo tanto, el nivel sonoro equivalente no es aplicable.

## **2. EVALUACIÓN Y ESTUDIO DE LA SITUACIÓN ACTUAL**

### **2.1. Análisis de ruidos en la planta**

#### **2.1.1. Efectos del ruido sobre el ser humano**

##### **2.1.1.1. Auditivos**

- Trauma acústico

Es un daño orgánico inmediato del oído por excesiva energía sonora. Se restringe a los efectos de una exposición única o relativamente pocas exposiciones a niveles muy altos de presión sonora.

El ruido extremadamente intenso que llega a las estructuras del oído interno puede sobrepasar los límites fisiológicos de éstas, produciendo la rotura completa y alteración del órgano de Corti. Un ejemplo: una explosión puede romper el tímpano, dañar la cadena de huesecillos y destruir las células sensoriales auditivas. Como consecuencia del trauma acústico suele quedar una pérdida de audición permanente.

- Desplazamiento temporal del umbral de la audición (DTU)

La exposición a ruidos intensos, con frecuencia causa una ligera disminución de la sensibilidad auditiva, y a menudo se acompaña de zumbidos, por lo general dura pocas horas; pero puede ser más prolongada si la intensidad del ruido ha sido mayor de 85 dB.

Para considerar que una persona ha sufrido solo un desplazamiento transitorio del umbral de la audición, deberá tener una recuperación total de sus facultades auditivas después de un lapso de reposo de 16 horas.

- Desplazamiento permanente del umbral de la audición. (DPU) o sordera ocupacional.

En este caso, la pérdida de audición no es reversible, y no tiene posibilidad de recuperación. Puede surgir como resultado de un trauma acústico o por el efecto acumulativo de las exposiciones repetidas al ruido durante largos períodos de tiempo (ésta última causa es la más frecuente).

Se debe tener presente que el riesgo para desarrollar sordera ocupacional inducida por ruido está en directa relación con el tiempo de exposición, la intensidad del ruido, así como factores genéticos que predisponen al trauma acústico.

Entre otros efectos auditivos provocados por la exposición a ruido se encuentra el Tinnitus, caracterizado por una falsa sensación de sonido. El Tinnitus puede ser continuo o intermitente y se exacerba generalmente con la exposición al ruido.

Dependiendo de la intensidad, el ruido puede distorsionar la comunicación interpersonal en el área de trabajo, pues durante la exposición a dos sonidos simultáneos, el de mayor intensidad anula la percepción del otro.

### 2.1.1.2. Extra-auditivos

- Daño psicosocial

El ruido es uno de los pocos estímulos que desde el nacimiento provoca reflejo de defensa (no es un miedo aprendido), y parece que por su presencia se van a producir efectos psicológicos (que se acompañan normalmente de síntomas físicos) como:

- Dificultad de comunicación.
- Perturbación del reposo y descanso.
- Alteraciones del sueño nocturno.
- Disminución de la capacidad de concentración.
- Malestar, ansiedad, estrés

Estos efectos van a alterar la vida social de la persona y, visto desde una perspectiva global del modo de enfermar, pueden modificar sus relaciones con el entorno.

- Malestar

Este es quizá el efecto más común del ruido sobre las personas y la causa inmediata de la mayor parte de las quejas. La sensación de malestar procede no sólo de la interferencia con la actividad en curso o con el reposo, sino también de otras sensaciones, menos definidas pero a veces muy intensas, de estar siendo perturbado. Las personas afectadas hablan de intranquilidad, inquietud, desasosiego, depresión, desamparo, ansiedad o rabia. Todo ello contrasta con la definición de "salud" dada por la Organización Mundial de la Salud: "Un estado de

completo bienestar físico, mental y social, no la mera ausencia de enfermedad".

El nivel de malestar varía no solamente en función de la intensidad del ruido y de otras características físicas del mismo que son menos objetivables (ruidos "chirriantes", "estridentes", etc.) sino también de factores, tales como: miedos asociados a la fuente del ruido, o el grado de legitimación que el afectado atribuya a la misma. Si el ruido es intermitente, influyen también la intensidad máxima de cada episodio y el número de éstos.

Durante el día se suele experimentar malestar moderado a partir de los 50 decibelios, y fuerte a partir de los 55. En el período vespertino, en estado de vigilia, estas cifras disminuyen en cinco o diez decibelios.

- Interferencia con la comunicación

El nivel del sonido de una conversación en tono normal es a un metro del hablante, aproximadamente entre 50 y 55 dBA. Hablando a gritos se puede llegar a 75 u 80. Por otra parte, para que la palabra sea perfectamente inteligible es necesario que su intensidad supere 15 dBA al ruido de fondo.

Por lo tanto, un ruido superior de 35 ó 40 decibelios provocará dificultades en la comunicación oral que sólo podrán resolverse, parcialmente, elevando el tono de voz. A partir de 65 decibelios de ruido, la conversación se torna extremadamente difícil.

Situaciones parecidas se dan cuando el sujeto está intentando escuchar otras fuentes de sonido (televisión, música, etc.). Ante la interferencia de un ruido, se reacciona elevando el volumen de la fuente creándose así una mayor contaminación sonora sin lograr totalmente el efecto deseado.

- Trastornos del sueño

El ruido influye negativamente sobre el sueño de tres formas diferentes que se dan, en mayor o menor grado según peculiaridades individuales, a partir de los 30 decibelios siendo las siguientes:

- Mediante la dificultad o imposibilidad de dormirse.
- Causando interrupciones del sueño que, si son repetidas, pueden llevar al insomnio. La probabilidad de despertar depende no solamente de la intensidad del suceso ruidoso sino también de la diferencia entre ésta y el nivel previo de ruido estable. A partir de 45 dBA, la probabilidad de despertar es grande.
- Disminuyendo la calidad del sueño, volviéndose éste menos tranquilo y acortándose sus fases más profundas, tanto las de sueño paradójico (los sueños) como las no-paradójicas. Aumentan la presión arterial y el ritmo cardíaco, hay vasoconstricción y cambios en la respiración.

Como consecuencia de todo ello, la persona no habrá descansado bien y será incapaz de realizar adecuadamente al día siguiente sus tareas cotidianas. Si la situación se prolonga, el equilibrio físico y psicológico se ven seriamente afectados.

Con frecuencia se intenta evitar o, al menos paliar, éstas situaciones mediante la ingestión de tranquilizantes, el uso de tapones auditivos o cerrando las ventanas para dormir. Las dos primeras prácticas son, evidentemente, poco saludables por no ser naturales y poder acarrear dependencias y molestias adicionales. La tercera hace también perder calidad al sueño por desarrollarse éste en un ambiente mal ventilado y/o con una temperatura demasiado elevada.

- Efecto en actividades mentales:
  - a) La comprensión de lectura y tareas verbales similares se encuentran afectadas con niveles de más de 70 dBA.
  - b) Cálculo: afectado con niveles de más de 40 dBA.
  - c) Memoria: afectado después de los 55 dBA.
  - d) Actividades complejas de oficina: captación de información auditiva afectada después de los 60 dBA, eficiencia afectada después de los 50 dBA, velocidad y calidad para ejecutar una tarea afectada después de los 64 dBA.

## **2.1.2. Evaluación**

### **2.1.2.1. Mediciones**

Se tomaron 50 mediciones al azar, obteniendo los siguientes niveles sonoros equivalentes (L<sub>aeq</sub>) de dB:



**Tabla I. Mediciones de nivel sonoro en planta**

Laeq (DB)	Frecuencia
85	21
86	12
87	7
88	4
89	5
90	1

FUENTE: Edwin Tock Amézquita

### 2.1.2.2. Cálculos

Se parte de la hipótesis de que la exposición al ruido durante un período largo de trabajo sigue una distribución normal, siendo su media el nivel sonoro equivalente, LAeq, d.

Según ésta hipótesis, la estimación de la distribución normal se realizaría, como se indica en la Norma Francesa (NF - S31 - 084), utilizando la distribución 't' de Student convencional.

El nivel sonoro equivalente (Laeq, d) está dado por la fórmula:

$$L_{aeq,d} = \frac{\sum L_i t_i}{n} = \text{Media Aritmética}$$

Tomando en cuenta los datos mostrados en la tabla I tenemos:

$$L_{aeq,d} = \frac{4313}{50} = 86.26$$

La desviación estándar (SL):

$$SL = \left( \frac{\sum (L_i - L)^2}{n} \right)^{1/2} \quad SL = \left( \frac{101.62}{50} \right)^{1/2} = 1.42$$

La lectura de la tabla II, para SL= 1.42 dB y n = 50 da un límite de confianza al 95% igual a cero.

**Tabla II. Intervalos de confianza al 95%<sup>3</sup>**

$$\text{INTERVALO DE CONFIANZA} = T \cdot \frac{S_L}{\sqrt{n}}$$

N	T	S <sub>L</sub>																															
		0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3	3,1	3,2				
3	4,303	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	7	7	8	8				
4	3,182	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5				
5	2,776	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4				
6	2,571	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3				
7	2,447	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3				
8	2,365	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3				
9	2,306	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
10	2,262	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
11	2,228	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
12	2,201	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
13	2,179	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2				
14	2,16	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2				
15	2,145	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2				
16	2,131	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2				
17	2,12	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2				
18	2,11	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2				
19	2,101	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2				
20	2,093	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
21	2,086	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
22	2,08	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
23	2,074	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
24	2,069	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
25	2,064	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
26	2,06	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
27	2,056	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
28	2,052	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
29	2,048	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
30	2,045	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
31	2,042	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
36	2,03	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
41	2,021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
46	2,014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
51	2,009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
61	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				

<sup>3</sup> De la página del Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales, España, Norma NPT 270, Evaluación de la Exposición al Ruido.

Como el intervalo de confianza es inferior a dos, el número de muestras aleatorias que se tomaron es bueno, por lo tanto:

Intervalo de confianza = 0 dB

El resultado de la medición será entonces:

$$L_{Aeq,d} = 86.26 \pm 0 \text{ dBA}$$

Las medidas se han efectuado con un instrumento de tipo dos, la incertidumbre debida al instrumento será de  $\pm 1$  dBA, siendo la global, entonces, de un dBA. El resultado global de la medición será, por tanto:

$$L_{Aeq,d} = 86.26 \pm 1 \text{ dBA.} \quad \text{ó} \quad 85.26 \leq L_{Aeq,d} \leq 87.26$$

El Real Decreto 1386/1989 en la legislación laboral española y la Organización Mundial de la Salud, dictan que el umbral de la nocividad del ruido se sitúa entre 85 y 90 dBA, que cualquier ruido mayor de 90 dBA puede ser lesivo para el hombre y que en la población trabajadora se considera peligrosa la permanencia en un ambiente ruidoso con un nivel diario equivalente ( $L_{Aeq,d}$ ) superior a 80 dBA, a partir del cual hay que tomar medidas preventivas específicas, como en este caso, que nuestro dato es de  $86.26 \pm 1$  dBA.

## **2.2. Elementos neumáticos**

### **2.2.1. Evaluación de daños**

Como primer punto, se debe mencionar que la unidad de compresión está colocada directamente en la máquina impresora sin tener el aire comprimido el debido tratamiento.

Entre los daños que se pudieron estudiar se encuentran los siguientes:

- El primer daño y el más visible, fue el que causó el condensado del aire comprimido a los cilindros neumáticos de las máquinas impresoras (prensas) que se encargan de hacer la presión de los rodillos que llevan tinta y agua al momento de realizar la impresión.
- También se vieron dañados los cilindros de una máquina cortadora trilateral, que se encargan de ejercer presión sobre el libro que se desea cortar al momento de bajar las cuchillas para hacer dicho corte.

El problema que se observaba en estos cilindros neumáticos era que el émbolo se vio dañado con la excesiva humedad y aceite que contenía el aire y permitía que el aire pasara de una sección del cilindro a otra y no ejecutara su movimiento normal.

El mismo exceso de humedad en el sistema provocó que los cilindros neumáticos sufrieran desgaste por la corrosión.

## **2.3. Análisis de costos**

### **2.3.1. Repuestos**

Los cilindros neumáticos dañados en la máquina impresora tienen un costo de Q. 1250.00 cada uno.

La máquina impresora utiliza dos cilindros por unidad de impresión y como es una máquina de cuatro colores, tiene igual número de unidades impresoras o torres, lo que da un total de ocho cilindros.

Si multiplicamos Q. 1250.00 X 8 da como resultado Q. 10,000.00

Los cilindros dañados de la guillotina trilateral tienen un costo de Q1200.00 (solamente cambio de o-rings) y utiliza cuatro cilindros, por lo que el costo total sería de Q 4800.<sup>00</sup>.

A continuación se presenta una tabla resumen de los costos incurridos en repuestos:

**Tabla III. Costos de repuestos dañados<sup>4</sup>**

<b>Repuesto</b>	<b>Costo (Q.)</b>
Cilindros neumáticos máquina cuatro colores	10,000
Orings guillotina trilateral	4,800
Total	14,800

### **2.3.2. Paros en la producción**

Se le llama un paro en la producción cuando una máquina deja de producir o hacer el trabajo para la cual fue diseñada por un determinado tiempo, en este caso las máquinas que se ven afectadas por un mal tratamiento del aire comprimido son las prensas o máquinas impresoras y guillotinas, que son las que utilizan el mismo para accionar cilindros y otros elementos neumáticos.

Estos paros de las máquinas atrasan toda la programación de la producción que se ha hecho y la empresa no se puede comprometer con otros trabajos que los clientes necesitan y estos migran a otras litografías que si pueden entregar los trabajos puntualmente; estos son los costos de oportunidad ocasionados por paros en la producción.

---

<sup>4</sup> Datos proporcionados Depto. Compras Delgado Impresos y Cía. Ltda.

Se tiene cuantificado un paro en la producción de la máquina impresora de cuatro colores cuando estuvo detenida nueve días hábiles porque se le dañaron los cilindros neumáticos. Esto representó una pérdida aproximada para la empresa de Q.5000.<sup>00</sup> entre salarios del operador, ayudante y otros costos de oportunidad ocasionados al tener la máquina sin producción.

### 2.3.3. Materia prima dañada

Durante el tiempo en que el aire comprimido no estaba debidamente tratado se perdió el siguiente material que estaba en proceso dentro de las máquinas cuando las mismas detuvieron su producción:

**Tabla IV. Costos de materia prima dañada<sup>5</sup>**

Item	Material	presentación	precio	precio unitario	Pliegos Perdidos	Q. Perdidos
1	Bond 60 26 x 34 blanco	500	200	0.40	5000	2000
2	Bond 60 22 x 34 blanco	500	170	0.34	4000	1360
3	Bond 80 26 x 34 blanco	500	275	0.55	2500	1375
4	Bond 80 22 x 34 blanco	500	233	0.47	1500	699
5	Couche 100 25 x 38 mate	500	565	1.13	6000	6780
6	Couche 100 25 x 38 brillante	500	530	1.06	2500	2650
7	Couche 60 25 x 38 mate	500	320	0.64	3000	1920
8	Couche 60 25 x 38 brillante	500	320	0.64	1500	960
9	Couche 80 25 x 38 mate	500	465	0.93	2500	2325
10	Couche 80 25 x 38 brillante	500	410	0.82	500	410
11	Husky Cover C08 brillante	500	850	1.70	0	0
12	Husky Cover C08 mate	500	915	1.83	1500	2745
13	Husky Cover C10 brillante	500	1050	2.10	500	1050

<sup>5</sup> Datos proporcionados Depto. Compras Delgado Impresos y Cía. Ltda.

Continuación.

Item	Material	Presentación	precio	precio unitario	Pliegos Perdidos	Q. Perdidos
14	Husky Cover C10 mate	500	1250	2.50	1000	2500
15	Texcote C10 25 x 38 1 cara	500	690	1.38	500	690
16	Texcote C10 30 x 40 2 caras	500	1150	2.30	0	0
17	Texcote C14 25 x 38 1 cara	500	910	1.82	1000	1820
18	Texcote C14 30 x 40 2 caras	500	1250	2.50	2000	5000
19	Texcote C12 25 x 38 1 cara	500	775	1.55	1600	2480
20	Texcote C16 25 x 38 1 cara	500	980	1.96	500	980
21	Texcote C16 30 x 40 1 cara	500	1330	2.66	0	0
	Total costo de papel					37744

Costo de tinta Q.90.<sup>00</sup>/kilo.

Rendimiento aproximado 15000 pliegos de papel/kilo.

Si se sabe que cada pliego utiliza cuatro colores (negro, cyan, magenta y amarillo) para formar el full color tenemos el siguiente costo:

$$Q. 90.<sup>00</sup> / kilo \times 1 kilos/15000 pliegos \times 4 \times 37744 pliegos$$

Total de gasto incurrido en tinta = Q. 905.86

**Tabla V. Resumen de análisis de costos**

<b>Descripción</b>	<b>Costo</b>
Repuestos	Q. 14800. <sup>00</sup>
Paros en la producción	Q. 5000. <sup>00</sup>
Papel	Q. 37744. <sup>00</sup>
Tinta	Q. 905.86
Total	Q 58449.86

Fuente: Edwin Manolo Tock Amézquita



### 3. PROPUESTA DE ELEMENTOS DE AIRE COMPRIMIDO

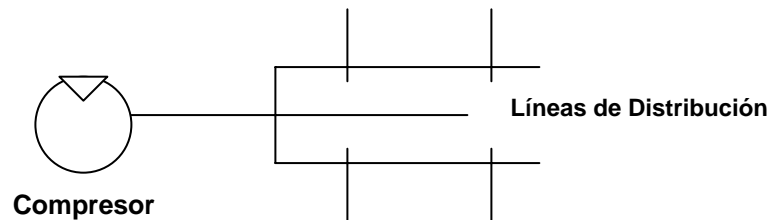
#### 3.1. Sistemas de aire comprimido

##### 3.1.1. Tipos

##### 3.1.1.1. En circuito abierto

En un circuito abierto el aire se dirige en una sola dirección y se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio, teniendo una disposición similar a la siguiente:

**Figura 4. Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito abierto**



Entre las ventajas de este tipo de circuito se pueden mencionar:

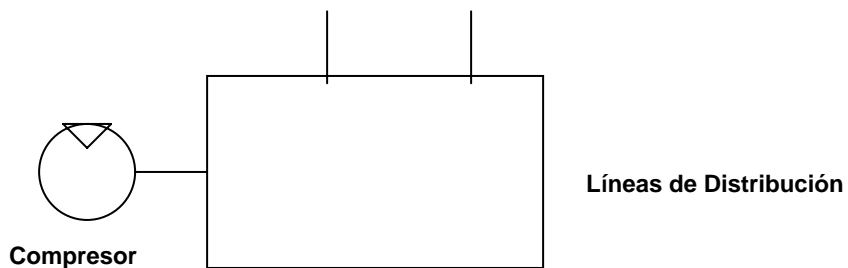
- Poca inversión inicial.
- Se pueden colocar filtros o separadores debido a que se sabe con certeza la dirección del flujo del aire comprimido, ya que dichos elementos tienen una posición de entrada y salida para separar los contaminantes.
- Es posible colocar la tubería con pendiente e instalar purgadores manuales o automáticos en la red.
- Es flexible para futuras expansiones.

La principal desventaja es que ante una reparación se puede detener el flujo de aire comprimido aguas debajo de donde se lleva a cabo la misma.

### 3.1.1.2. En circuito cerrado

En este tipo de configuración la línea principal de distribución es un anillo cerrado y el flujo de aire no tiene una dirección definida, teniendo una distribución similar a la figura siguiente:

**Figura 5. Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito cerrado**



Entre las ventajas de este tipo de circuito se tienen:

- La mayor es la facilidad que presenta para las tareas de mantenimiento.
- Distribución más uniforme de aire, y
- Menos caídas de presión.

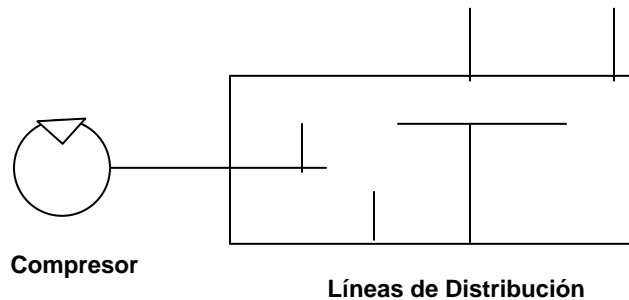
Entre las desventajas se pueden mencionar:

- Por no tener una dirección definida no se pueden colocar filtros y separadores, ya que estos elementos tienen una dirección de flujo con una entrada y salida definidas; tampoco se pueden hacer un diseño con desnivel de tubería para colocar purgas en los niveles más bajos.
- No es flexible para futuras expansiones.
- Mayor costo

### 3.1.1.3. Mixto

Es una combinación de los dos sistemas anteriores, en donde se utiliza un sistema cerrado para la línea principal y un sistema abierto en los puntos o ramales de distribución, y en el cual se pueden combinar las ventajas que presentan ambos sistemas, teniendo una configuración similar a la siguiente figura.

**Figura 6. Esquema de una instalación de aire comprimido en circuito mixto**



## 3.2. Compresores

### 3.2.1. Tipos de compresores

#### 3.2.1.1. De desplazamiento positivo

Este tipo de compresores aumentan la presión directamente por reducción del volumen en la cámara que encierra el gas. Esta acción es aprovechada para dar un servicio con una relación de presión relativamente elevada, aunque presenta ciertas dificultades por las altas temperaturas y la condensación.

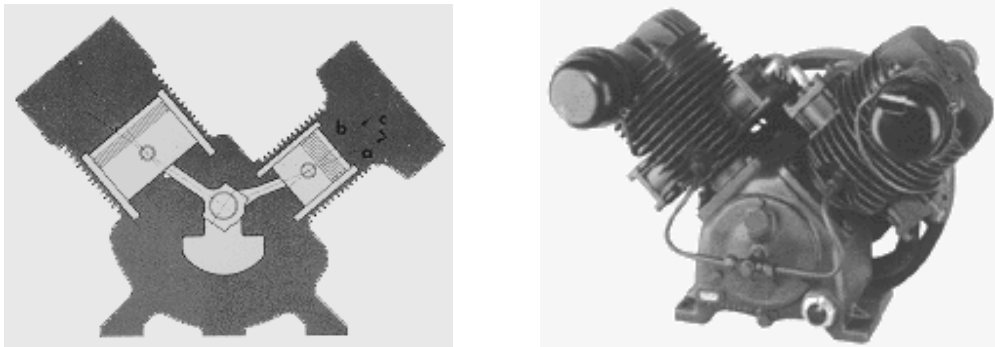
Dentro de este grupo se encuentran clasificados los siguientes tipos de compresores:

- Alternativos de pistón
- Alternativos de diafragma
- Rotativos
- De tornillo
- De lóbulos rectos

### 3.2.1.1.1 Compresores alternativos de pistón

Es el tipo más común y más antiguo de los compresores de desplazamiento positivo. Son utilizados en sistemas en los que se requieren altas presiones, ya que son eficientes para trabajar a cargas parciales o a plena carga.

**Figura 7. Esquema de mecanismo de un compresor de pistón<sup>6</sup>**



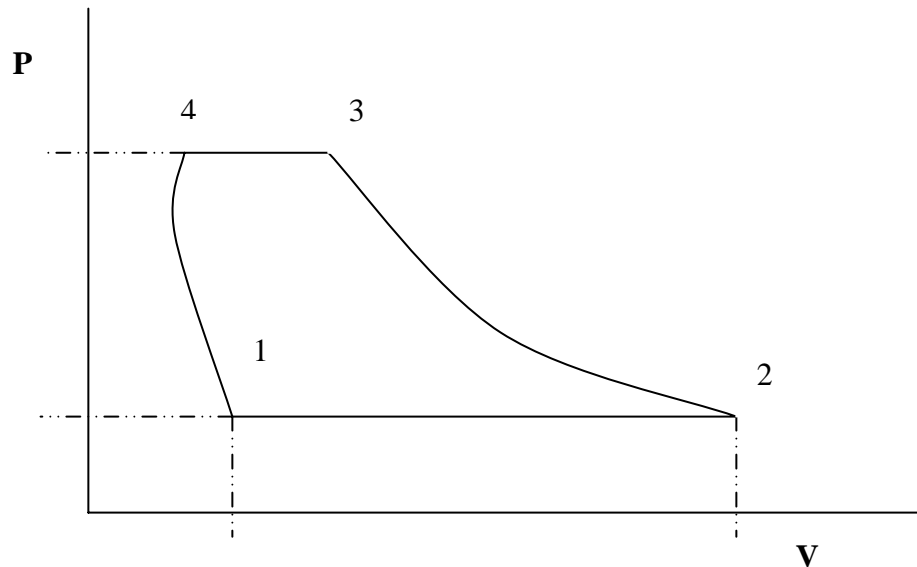
Este compresor funciona con base en un mecanismo de excéntrica que controla el movimiento alternativo de los pistones en el cilindro.

Su funcionamiento está basado en el siguiente diagrama.

---

<sup>6</sup> Figura tomada de la página  
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>

**Figura 8. Diagrama teórico de un compresor alternativo<sup>7</sup>**



En el punto cuatro, el pistón se encuentra en el punto muerto superior (pms) iniciando su carrera descendente; el volumen remanente dentro del cilindro se expande hasta alcanzar la presión  $P_1$ , en ese momento, la válvula de admisión se abre y es introducido el aire ambiente dentro del cilindro por el movimiento descendente del pistón. Al alcanzar el pistón el punto muerto inferior (pmi) en el punto dos, se cierra la válvula de admisión y el aire es comprimido por la carrera ascendente del pistón hasta alcanzar el punto tres, donde la válvula de escape se abre permitiendo la descarga del aire comprimido durante el proceso 3 – 4, se cierra la válvula de escape iniciándose un nuevo ciclo.

Es el compresor más difundido a nivel industrial, dada su capacidad de trabajar en cualquier rango de presión. Normalmente, se fabrican de una

---

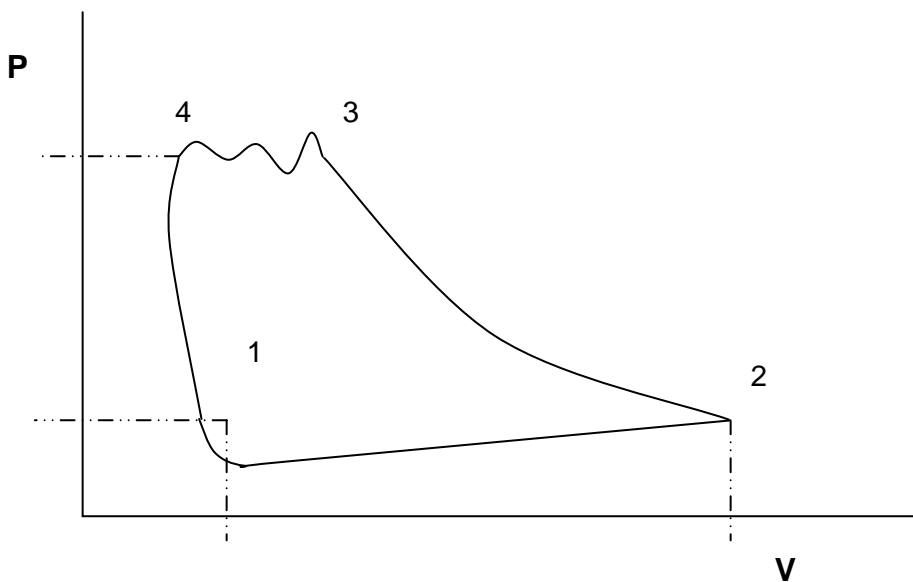
<sup>7</sup> Tomada de la tesis Diseño, Montaje y Mantenimiento de Sistemas de Aire Comprimido, Pedro Juárez Pizza

etapa hasta presiones de cinco bares, de dos etapas para presiones de cinco a diez bares y para presiones mayores, tres o más etapas.

Algunos fabricantes ya están usando tecnología denominada libre de aceite, vale decir, sus compresores no utilizan aceite lo que los hace muy apetecibles para la industria químico farmacéutica y hospitales.

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

**Figura 9. Diagrama real de un compresor alternativo<sup>8</sup>**



<sup>8</sup> Tomada de la tesis Diseño, Montaje y Mantenimiento de Sistemas de Aire Comprimido, Pedro Juárez Pizza

El diagrama real varía con respecto al diagrama teórico, debido a los efectos de la fricción por resistencia en válvulas, canales, filtros, así como por fugas en las válvulas y en los anillos del pistón. En el diagrama real, observamos que existe un descenso en la presión en el punto uno, ya que es necesario un pequeño intervalo de tiempo para que la válvula de admisión se abra completamente; por ésta razón se tiene una supresión durante el resto del período de aspiración. En el lado de la descarga, se hace necesaria una presión ligeramente superior que la del sistema, para lograr vencer la resistencia de la válvula de descarga y la fricción en los conductos.

#### **3.2.1.1.1. Clasificación de los compresores alternativos de pistón**

Existen dos tipos de compresores alternativos de pistón:

- De simple efecto
- De doble efecto

Los compresores de simple efecto, realizan solamente una carrera de admisión y una de compresión por revolución del cigüeñal. La disposición de sus componentes: cárter, cilindro, pistón, pasador del pistón, biela y cigüeñal, es similar al de un motor de gasolina. Estas unidades son regularmente pequeñas.

Los compresores de doble efecto, son unidades más grandes, en las que el pistón posee dos caras, por lo que realiza dos carreras de admisión y dos de compresión por revolución del cigüeñal. El pistón es accionado por un

vástago de pistón por medio de una cruceta similar a la de una máquina de vapor.

Otra clasificación de los compresores alternativos de pistón está referida a la forma o procedimiento que se sigue para realizar la compresión del gas:

- Compresores de una etapa
- Compresores de etapas múltiples

#### Compresores de una etapa

La compresión del aire desde la presión inicial a la final, en este tipo de compresores, se realizan en un solo paso o etapa. Es decir, que el aire aspirado en la carrera descendente del pistón, es comprimido en la carrera de compresión hasta llevarlo a la presión requerida y es entregado directamente al depósito o a la línea principal.

#### Compresores de etapas múltiples

Puede decirse que estas unidades se encuentran constituidas por dos o más unidades de una etapa, ya que el aire del exterior aspirado por uno o varios pistones, es comprimido hasta una presión mucho menor que la requerida, luego es descargada a un enfriador para disipar el calor de la compresión anterior; en seguida entra a otro u otros cilindros, en donde nuevamente es comprimido repitiéndose el procedimiento anterior, dependiendo del número de etapas, hasta llevarlos a la presión requerida para ser descargado al depósito o a la línea principal. Por el proceso que se sigue para lograr la compresión total del gas, presenta la ventaja de entregar



un aire más frío a presiones elevadas sin riesgos de sobrecalentamientos, puesto que el aire es enfriado entre cada etapa.

#### **3.2.1.1.1.2. Tipos de válvulas**

Los compresores alternativos de pistón regularmente utilizan válvulas de admisión y de descarga del tipo automático, las que abren y cierran al existir inversión en la presión sobre ellas. El tipo más común de estas válvulas se compone de dos discos perforados colocados uno frente al otro, sin coincidir los agujeros. Entre los discos se encuentran colocadas láminas sujetas por resortes o láminas flotantes, que cubren los orificios del disco inferior; por la disposición de estas láminas pueden separarse libremente del todo, los compresores alternativos de pistón tienen por lo menos una válvula de admisión y una de descarga.

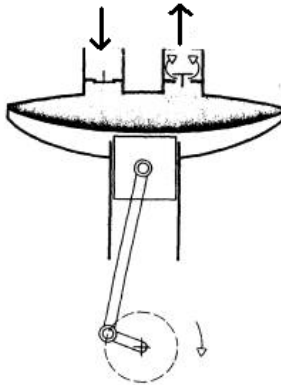
#### **3.2.1.1.2 Compresores alternativos de diafragma**

El funcionamiento de este tipo de compresores es similar al de un alternativo de pistón, diferenciándose en que tiene una membrana flexible o diafragma en lugar del pistón. Esta membrana puede ser activada por medios mecánicos o hidráulicos.

El movimiento alternativo en los compresores activados mecánicamente se realiza por medio de una excéntrica colocada sobre el rotor, la cual acciona una biela que está sujeta a la membrana. Los activados por medios hidráulicos, tienen una bomba de presión del tipo de pistón, el que es accionado directamente desde el cigüeñal por medio de una biela, éste pistón eleva la presión del fluido que actúa en la parte inferior de la membrana, produciéndose así el movimiento alternativo.

Los compresores que son activados por medios mecánicos, se utilizan en donde se requieren capacidades pequeñas y bajas presiones; mientras que los activados, por medios hidráulicos, se utilizan para requerimientos de altas presiones.

**Figura 10. Esquema de mecanismo de compresor de diafragma<sup>9</sup>**



### **3.2.1.1.3 Compresores rotativos**

La característica principal de estos compresores es que no poseen válvulas, ya que constan únicamente de tumbreras, tanto en la admisión como en la descarga.

Dentro de este tipo existen:

- Compresores de aletas
- Compresores de anillo líquido

---

<sup>9</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

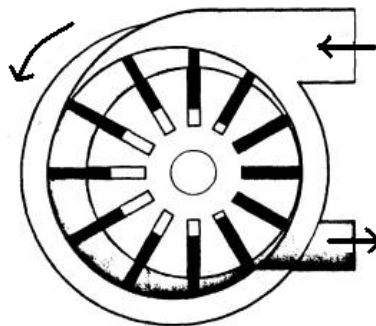
### 3.2.1.1.3.1 Compresores de aletas

El compresor de aletas consta de una carcasa cilíndrica, dentro de la que va montado en forma excéntrica un rotor ranurado, sobre el que van colocadas unas aletas deslizantes en forma radial.

La fuerza centrífuga generada al girar el rotor hace que las aletas se mantengan pegadas contra la superficie de la carcasa y por la excentricidad del rotor, las paletas se extienden y retraen alternadamente dentro del rotor. El aire es aspirado de la lumbrera de admisión que está colocada en la parte más excéntrica y entra al espacio entre aletas, donde éste espacio es mayor, al girar el rotor el volumen de aire o gas va disminuyendo hasta alcanzar la lumbrera de descarga.

Las aletas están constituidas principalmente de asbesto o de algodón impregnado con resina fenólica, aunque en algunos casos, también son utilizadas aletas de acero con superficie endurecida. En unidades no lubricadas (auto-lubricadas) se utiliza bronce o grafito.

**Figura 11. Esquema de mecanismo de compresor de aletas<sup>10</sup>**



<sup>10</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

#### **3.2.1.1.3.2 Compresores de anillo líquido**

Estos compresores están constituidos por un rotor con álabes fijos, montados dentro de una carcasa, de tal forma que la cámara varíe cíclicamente en cada revolución.

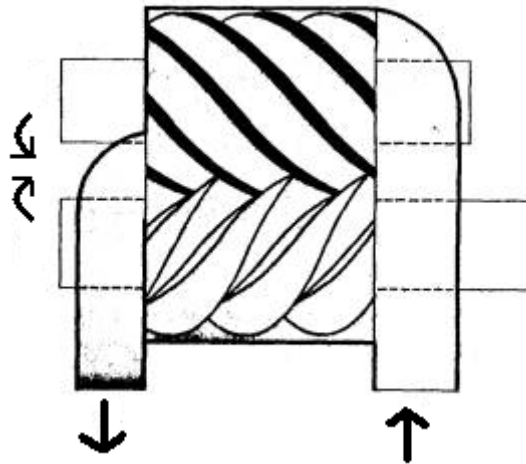
El cilindro se encuentra parcialmente lleno con un líquido, el que regularmente es agua, la que por acción de la fuerza centrífuga forma un anillo dentro del cilindro, lo que forma la cámara de compresión, dentro de la cual se va reduciendo el volumen en forma similar al compresor de aletas. Estos compresores encuentran su principal aplicación en sistemas, en los que se requiere de aire relativamente frío.

#### **3.2.1.1.4. Compresores de tornillo**

La parte principal de estos compresores está constituida por un par de elementos colocados en contra-rotación, con acanaladuras helicoidales que engranan entre sí. Se encuentran encerrados dentro de una cubierta hermética.

El aire es aspirado en un extremo en donde las acanaladuras se encuentran abiertas, siendo atrapado cuando estas acanaladuras engranan, comprimiéndolo al continuar el ciclo de rotación como consecuencia de la reducción del volumen dentro de las acanaladuras hasta llevarlo al punto de descarga.

**Figura 12. Esquema de mecanismo de compresor de tornillo<sup>11</sup>**



#### **3.2.1.1.5. Compresores de lóbulos rectos**

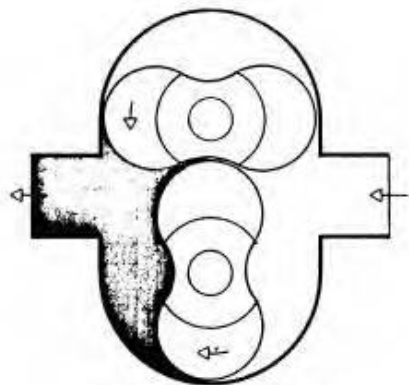
Aunque son compresores de desplazamiento positivo, su funcionamiento está limitado a bajas relaciones de presión, razón por la cual se les denomina comúnmente como sopladores.

Están compuestos por dos lóbulos rectos colocados dentro de una carcasa, los que engranan en contra-rotación. La compresión es producida por contraflujo al dejar el rotor abierta la compuerta de descarga.

---

<sup>11</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

**Figura 13. Esquema de mecanismo de compresor de lóbulos rectos<sup>12</sup>**



#### **3.2.1.2. Dinámicos**

Estos compresores se diferencian de los compresores de desplazamiento positivo en que la compresión se realiza indirectamente, es decir, que inicialmente se le imprime una velocidad al aire y luego ésta es convertida de energía cinética en energía de presión.

Este tipo de compresor generalmente se compone de una sola pieza móvil y un rotor de aspas que gira dentro de una carcasa hermética.

Estas son unidades generalmente grandes y son utilizadas en sistemas, en los cuales los requerimientos de abastecimiento de aire son muy grandes y las presiones son relativamente moderadas

Se clasifican en:

- Compresores centrífugos
- Compresores axiales

---

<sup>12</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

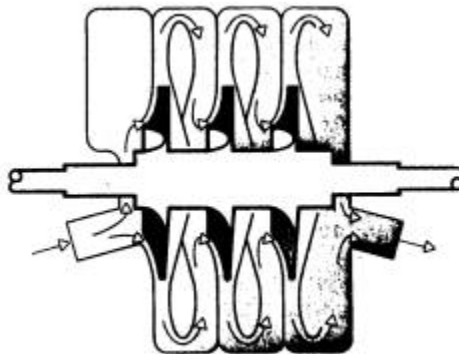
### 3.2.1.2.1. Centrífugos

Se dice que es un compresor de flujo radial, ya que el gas o aire es acelerado desde el centro de una rueda giratoria, por acción de la fuerza centrífuga hasta la periferia, en donde el aire es conducido a un difusor para convertir la energía cinética en energía de presión.

Cuando se tiene una compresión por etapas, el gas es desacelerado y devuelto nuevamente al eje, entre cada una de las etapas, por medio de espas directrices fijas.

La ventaja que presentan estos compresores es la de poder mantener la presión constante al tenerse cargas variables.

**Figura 14. Esquema de mecanismo de compresor centrífugo<sup>13</sup>**



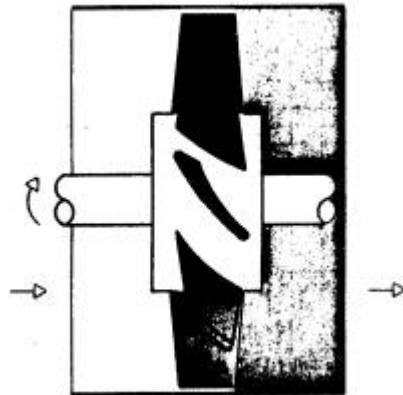
### 3.2.1.2.2. Axiales

Como su nombre lo indica, el flujo del gas se realiza en forma axial, siendo acelerado por una serie de paletas rotativas y estacionarias colocadas

<sup>13</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

alternadamente. Las paletas rotativas le imprimen velocidad al gas y las estacionarias la convierten en presión, a la vez que re-encauzan la dirección del flujo a lo largo del eje. Se caracterizan por producir una entrega de flujo constante a presiones moderadas.

**Figura 15. Esquema de mecanismo de compresor axial.<sup>14</sup>**



### **3.3. Tratamiento del aire comprimido**

#### **3.3.1. Tratamiento del aire en la salida del compresor**

La calidad del aire comprimido que se entregará a cada una de las máquinas que lo utilizan es primordial. Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos.

Las impurezas que se encuentran en el aire comprimido sin un adecuado tratamiento se pueden dividir en tres grandes grupos:

---

<sup>14</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)



Sólidas. Polvo atmosférico y partículas del interior de las instalaciones

Líquidas. Agua y niebla de aceite

Gaseosas. Vapor de agua y aceite

Las partículas sólidas generan desgaste y abrasiones, obstrucciones en los conductos pequeños. Las partículas líquidas y gaseosas corroen las tuberías y elementos neumáticos, disminuyen los pasos efectivos de las tuberías y elementos al acumularse las condensaciones, y dañan los empaques y sellos. Además, el aceite proveniente de la lubricación del compresor forma depósitos y contamina el ambiente cuando se descargan las válvulas.

En la actualidad, se han desarrollado los compresores libres de aceite, especialmente desarrollados para la industria alimenticia y farmacéutica. Estos pueden ser del tipo pistón o tornillo; la gran ventaja de estos equipos, es la entrega de un aire limpio, de alta pureza, pero siempre necesita un sistema de filtración posterior.

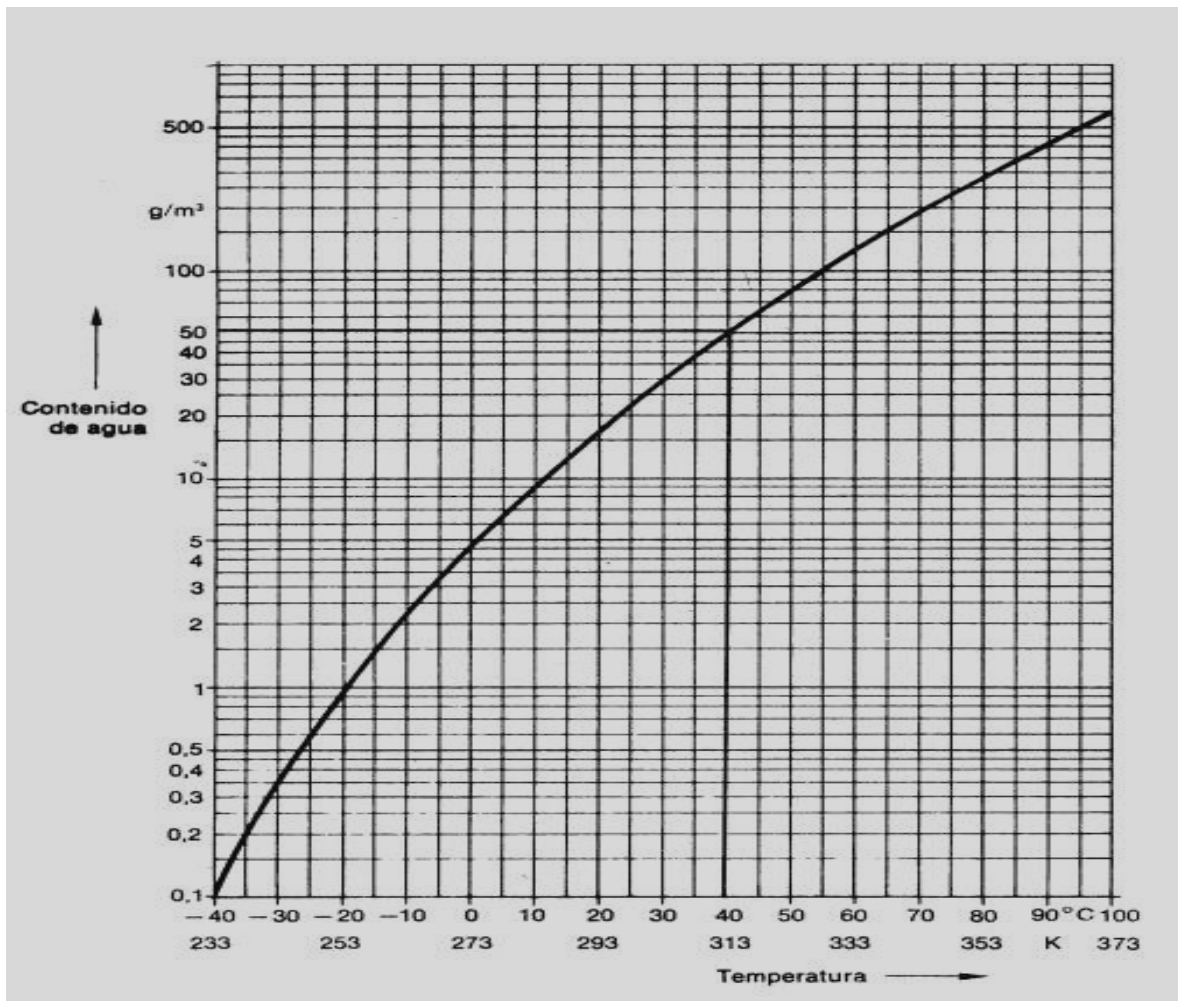
La mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración y la separación fina, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación.

Hay que dedicar especial atención a la humedad que contiene el aire comprimido. El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas. La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m<sup>3</sup> de aire. El grado de saturación es la cantidad de agua que un m<sup>3</sup> de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La

humedad es entonces del 100%, como máximo (temperatura del punto de rocío).

$$\text{Humedad relativa} = (\text{Humedad absoluta} / \text{grado de saturación}) \times 100$$

**Figura 16. Saturación del aire en función de la temperatura.<sup>15</sup>**



Existen varios procedimientos de secado del aire:

- Secado por absorción

<sup>15</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

- Secado por adsorción
- Secado por enfriamiento

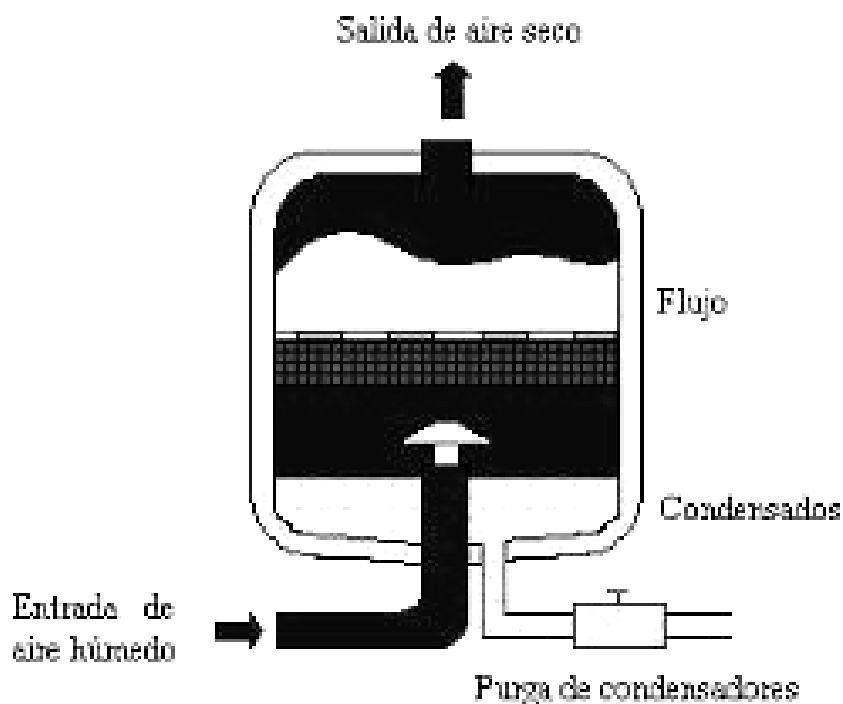
### **3.3.1.1 Secado por absorción**

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

Esta mezcla tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente. Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (dos a cuatro veces al año). Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de éste.

El procedimiento de absorción se distingue por reducir el desgaste mecánico, porque el secador no tiene piezas móviles y no necesita aportación de energía exterior.

Figura 17. Esquema de un secador por absorción.<sup>16</sup>



### 3.3.1.2. Secado por adsorción

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

La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad. La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente

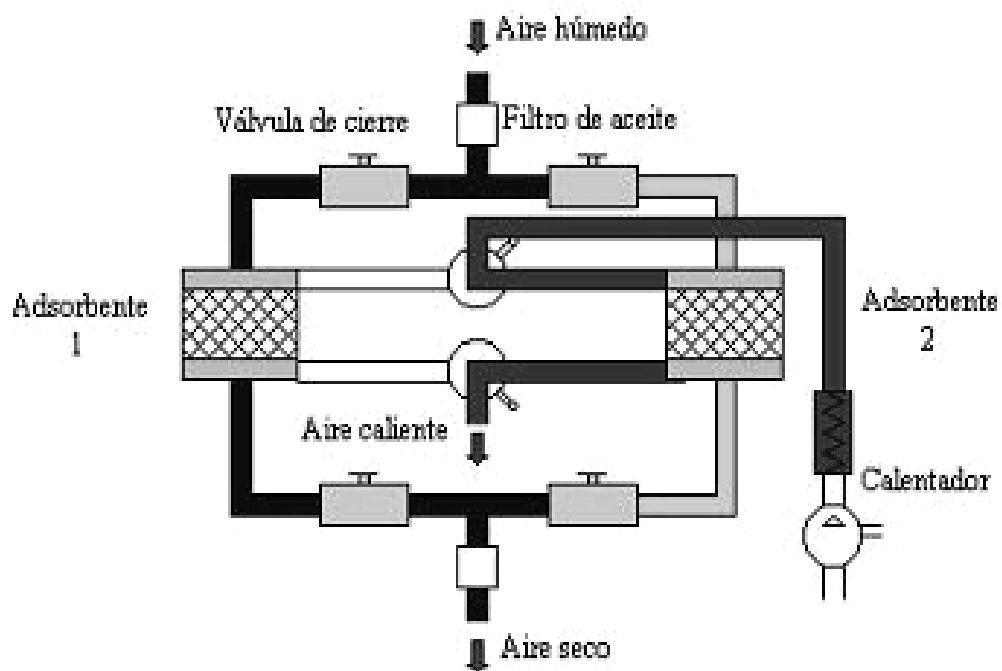
---

<sup>16</sup> Monografía de Hincapié Gómez, Esteban, Arboleda Serna, Juan David, Cardona Múnera, Santiago UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MEDELLÍN, UNIVERSIDAD EAFIT, DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, NOVIEMBRE 10 2003.

limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado.

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

**Figura 18. Esquema de un secador por adsorción.<sup>17</sup>**



### 3.3.1.3. Secado por enfriamiento

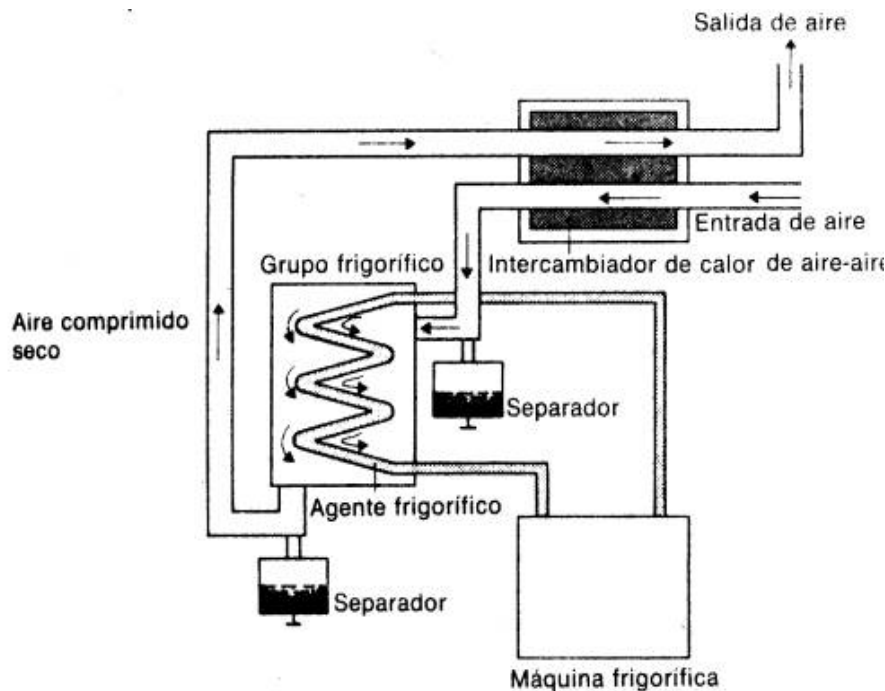
Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío. Se entiende

<sup>17</sup> Monografía de Hincapié Gómez, Esteban, Arboleda Serna, Juan David, Cardona Múnera, Santiago UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MEDELLÍN, UNIVERSIDAD EAFIT, DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, NOVIEMBRE 10 2003.

por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas, con el objeto que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido a secar entra en el secador, pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría, mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador). El condensado de aceite y agua se evacúa del intercambiador de calor, a través del separador. Este aire pre-enfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador), y se enfría más hasta una temperatura de unos 274.7 K (1.7 °C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados. Seguidamente, se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objeto de eliminar nuevamente partículas de suciedad.

**Figura 19. Esquema de un secador por enfriamiento.<sup>18</sup>**

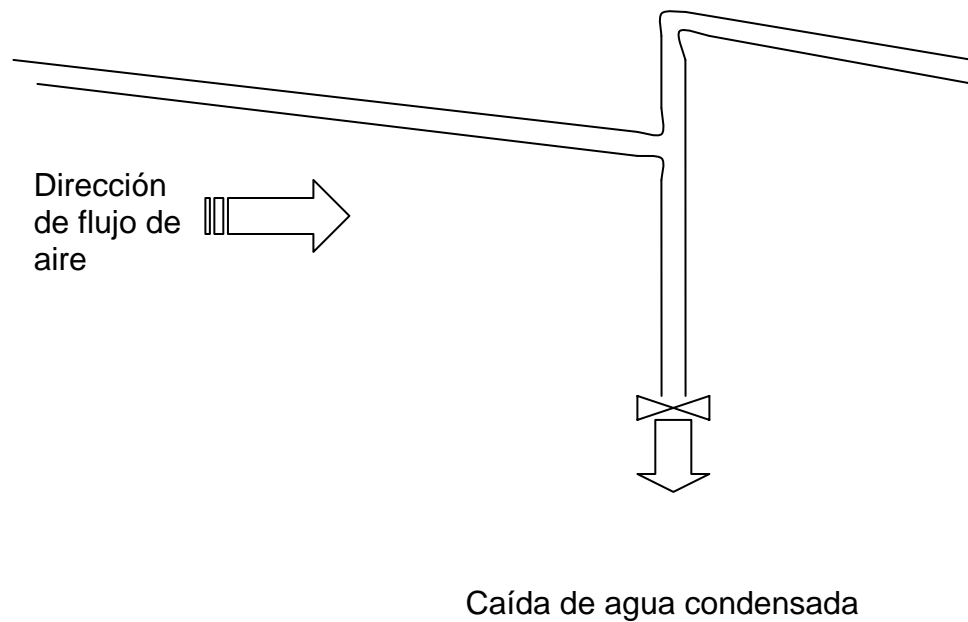


<sup>18</sup> Monografía de Hincapié Gómez, Esteban, Arboleda Serna, Juan David, Cardona Múnera, Santiago UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MEDELLÍN, UNIVERSIDAD EAFIT, DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, NOVIEMBRE 10 2003.

### 3.3.2. Tratamiento del aire en las redes de distribución

En las redes abiertas se deben permitir una leve inclinación de la red en el sentido de flujo del aire. Esto con el fin de facilitar la extracción de los condensados. Dicha inclinación puede ser de un dos por ciento, aproximadamente, y al final de la misma se coloca una válvula de purga para que por gravedad salga el condensado y el aire comprimido fluya hacia arriba.

**Figura 20. Representación de una purga en una red de aire comprimido.**



### **3.3.3. Tratamiento del aire en las máquinas a utilizar**

#### **3.3.3.1. Unidad de mantenimiento**

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

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

Deben tenerse en cuenta los siguientes puntos:

- El caudal total de aire en  $\text{m}^3/\text{h}$  es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en las unidades una caída de presión demasiado grande. Por eso, es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.
- La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a  $50\text{ }^\circ\text{C}$  (valores máximos para recipiente de plástico).

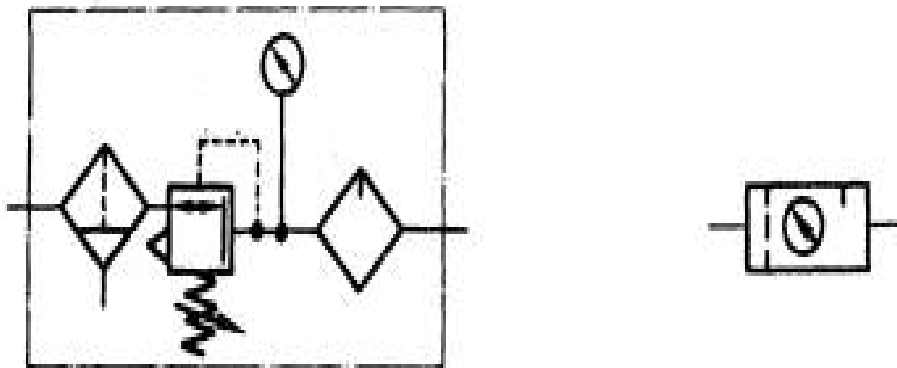
La siguiente figura muestra una unidad de mantenimiento y sus componentes internos.



**Figura 21. Unidad de mantenimiento.<sup>19</sup>**



**Figura 22. Símbolo de la unidad de mantenimiento<sup>20</sup>**



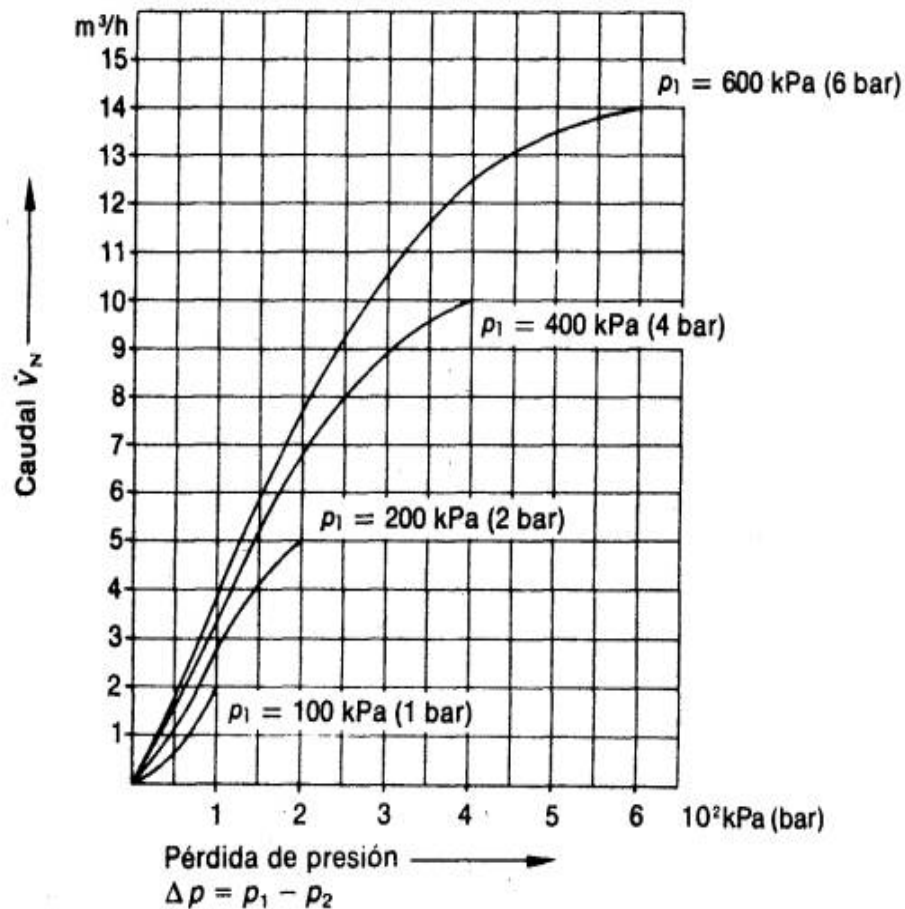
Todos los aparatos poseen una resistencia interior, por lo que, se produce una caída de presión hasta que el aire llega a la salida. Esta caída de

<sup>19</sup> Monografía de Hincapié Gómez, Esteban, Arboleda Serna, Juan David, Cardona Múnera, Santiago UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MEDELLÍN, UNIVERSIDAD EAFIT, DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, NOVIEMBRE 10 2003.

<sup>20</sup> Monografía de Hincapié Gómez, Esteban, Arboleda Serna, Juan David, Cardona Múnera, Santiago UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, MEDELLÍN, UNIVERSIDAD EAFIT, DEPARTAMENTO DE ING. MECÁNICA, NOVIEMBRE 10 2003.

presión depende del caudal de paso y de la presión de alimentación correspondiente.

**Figura 23. Diagrama de pérdidas de presión frente a caudal de aire<sup>21</sup>**



En la abscisa está indicada la pérdida de presión  $\Delta p$ . Esta es la diferencia entre la presión en el regulador de presión ( $p_1$ ), y la presión a la salida de la unidad ( $p_2$ ). La pérdida máxima de presión  $\Delta p$  puede corresponder por tanto a la presión  $P_2$ . En este caso, la resistencia después de la unidad ha disminuido hasta el valor cero y, por tanto, se dispone del caudal máximo de flujo.

<sup>21</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

## **3.4. Redes de distribución del aire comprimido**

### **3.4.1. Elementos de conducción**

#### **3.4.1.1. Tuberías**

##### **3.4.1.1.1. Tipos**

###### **3.4.1.1.1.1. Tubería principal o madre**

Es la línea de aire que sale del depósito y lleva dentro la totalidad del caudal de aire. Debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad, en cuanto a posteriores ampliaciones de la planta.

###### **3.4.1.1.1.2 Tubería secundaria**

Son las que salen de la tubería principal, y toman el aire de la misma ramificándose por las zonas de trabajo y de las cuales salen las tuberías de servicio. De la misma forma deben de considerarse futuras ampliaciones de la planta.

###### **3.4.1.1.1.3 Tubería de servicio**

Llamadas también bajantes, son las que alimentan directamente a las máquinas y herramientas de aire comprimido.

Se requiere dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas. Se debe evitar poner tuberías de servicio inferiores a ½ pulgada de diámetro, ya que si el aire está sucio puede obstruirlas; las tuberías demasiado pequeñas

causan altas velocidades de circulación de aire, haciendo difícil la separación por métodos mecánicos de las partículas contaminantes en suspensión.

#### **3.4.1.1.2. Materiales**

Para la elección de los materiales, se tienen diversas posibilidades: cobre, hierro negro, latón, acero galvanizado, entre otros.

Las tuberías se deben desarmar fácilmente, ser resistentes a la corrosión y de precio módico.

Las tuberías que se instalan de modo permanente se montan preferentemente con uniones soldadas. Estas tuberías así unidas, son estancas y, además, de precio económico. El inconveniente de estas uniones consiste en que al soldar se producen cascarillas, que deben retirarse de las tuberías. De la costura de soldadura se desprenden también fragmentos de oxidación; por eso, es necesario incorporar una unidad de mantenimiento.

En las tuberías de acero galvanizado, los empalmes de rosca no siempre son totalmente herméticos. La resistencia a la corrosión de estas tuberías de acero no es mejor que la del tubo negro. Los lugares desnudos (roscas) también se oxidan, en este caso, es importante emplear unidades de mantenimiento. Para casos especiales se montan tuberías de cobre o plástico.

Las tuberías de cobre son de utilización limitada, debido a su alto costo y a la utilización de accesorios especiales. La tubería de hierro negro se justifica su utilización en instalaciones bastante grandes, con diámetros de tubería superior a cuatro pulgadas.

### **3.4.1.2. Mangueras**

Las mangueras básicamente están constituidas de un forro interior liso resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y un forro externo flexible que debe ser resistente a los solventes y a la abrasión.

Los materiales más utilizados en la fabricación de mangueras son el hule resistente a los abrasivos y a los solventes. También se utilizan mangueras de plástico, las cuales proporcionan un rendimiento similar a las de hule, aunque son más sensibles a los trabajos rudos. Dentro de este tipo de mangueras, también hay en forma de espiral, las cuales se utilizan en situaciones en que la distancia de utilización es variable.

### **3.4.2. Válvulas**

Una válvula es un mecanismo utilizado para interrumpir o regular el flujo de un fluido, además, son un dispositivo para evitar sobrecargas de presión en los depósitos o en el compresor.

Las válvulas se clasifican de la siguiente forma:

- Válvulas de abastecimiento
- Válvulas de seguridad

#### **3.4.2.1. Válvulas de abastecimiento**

Son utilizadas para controlar el flujo de aire en las líneas de distribución del sistema de aire comprimido, encontrándose comúnmente de tres tipos:

- Compuerta
- Globo
- Diafragma

#### **3.4.2.1.1. Válvulas de compuerta**

Se utilizan cuando se requiere del flujo completo y éstas deben de permanecer abiertas o cerradas. Su construcción interna consiste en un cuerpo dentro del que está colocado un disco con forma de cuña, que se acopla a un asiento con la misma forma. El disco es accionado por un tornillo para levantarlo o bajarlo según se abra o cierre respectivamente.

#### **3.4.2.1.2. Válvulas de globo**

Se utilizan cuando se requiere un estrangulamiento del flujo o que el mismo se necesita abrir o cerrar con frecuencia. El asiento se encuentra directamente opuesto al orificio superior del cuerpo de la válvula.

#### **3.4.2.1.3. Válvulas de diafragma**

Estas válvulas presentan menor resistencia al flujo de aire para evitar las pérdidas de presión y al cerrarse se obtiene hermeticidad para evitar fugas, y consisten básicamente de un diafragma accionado por un tornillo y un cuerpo. Al estar en posición abierta el diafragma aísla completamente el cuerpo de la válvula, con lo que se evita cualquier contacto del aire con el mismo y por lo tanto pérdidas por fricción. Al cerrarse, proporciona un cierre hermético dado a las características flexibles del diafragma, aunque se interpongan partículas sólidas ente el diafragma y la base.

#### **3.4.2.2. Válvulas de seguridad**

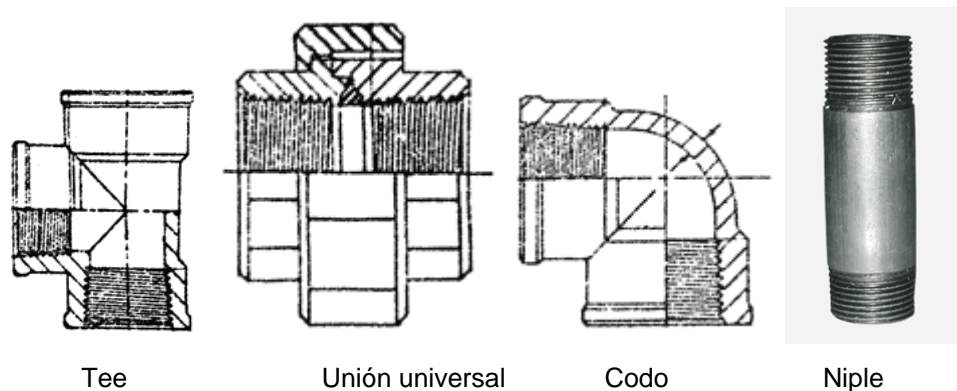
Estas válvulas permiten el control de las sobrecargas de presión dentro del sistema de aire comprimido. Regularmente están instaladas en los

depósitos de aire. Su funcionamiento está basado en la tensión de un resorte que presiona una válvula de cierre. Cuando la presión del sistema sobrepasa la tensión del resorte, la válvula se abre, dejando escapar el aire hasta restablecer la presión del sistema. La tensión del resorte es graduada por un ajuste, para la presión dada.

### 3.4.3. Accesorios

En toda instalación se hace necesario el uso de accesorios que permitan adaptarse a las condiciones de la planta y también para hacer las tomas en los diferentes puntos de servicio. Los accesorios pueden ser suministrados para uniones roscadas o por medio de bridas (cuando se utilizan diámetros mayores de cuatro pulgadas). Los accesorios más utilizados en las líneas de distribución de aire son: codos, tees, reducidos y acoples, entre los que se tienen uniones universales, nicles, etc.

**Figura 24. Accesorios de una red de aire comprimido<sup>22</sup>**



El material más utilizado en la construcción de los accesorios es el hierro galvanizado, aunque también se encuentran de cobre. Es aconsejable que

<sup>22</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

los accesorios sean del mismo diámetro de la tubería y que los codos sean de curvatura grande, para evitar mayores pérdidas por fricción. En las instalaciones también se pueden incluir acoples rápidos en el punto donde se utilizan las herramientas, y las mismas se pueden conectar y desconectar teniendo presión en la línea, pues cuentan con un dispositivo que cierra automáticamente el paso del aire al desconectar el equipo o manguera.



## 4. IMPLEMENTACIÓN O DISEÑO DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO

### 4.1. Cálculos de consumo de aire

#### 4.1.1. Determinación del flujo máximo

Listado de máquinas que utilizan aire comprimido:

Máquina impresora Adast cuatro colores:	2 pies <sup>3</sup> /min.,
Máquina impresora Shinohara de dos colores:	1 pies <sup>3</sup> /min.,
Guillotina trilateral:	2.5 pies <sup>3</sup> /min.,
Máquina de Sandblasting:	1.3 pies <sup>3</sup> /min.,
Sumatoria	6.8 pies <sup>3</sup> /min.

Flujo máximo del sistema = Sumatoria del consumo de cada máquina  
+ 5% por pérdidas + 20% de futuras ampliaciones

Flujo máximo del sistema = 6.8 pies<sup>3</sup>/min. + 0.34 pies<sup>3</sup>/min. + 1.36 pies<sup>3</sup>/min.

Flujo máximo del sistema = 8.5 pies<sup>3</sup>/min.

#### 4.1.2. Determinación de la presión máxima

La presión máxima está dada por el dato mayor de presión de todas las máquinas que se incluyen en la lista anterior, en este caso, la presión máxima es de seis bares, o sea, aproximadamente 90 psi.

## 4.2. Distribución del aire comprimido

### 4.2.1. Tuberías

#### 4.2.1.1. Dimensionado

Primero se necesita conocer la longitud equivalente de tubería del sistema, lo cual se hará por tanteos, ya que no se conoce el diámetro de tubería que se va a utilizar y la longitud equivalente varía en relación al mismo.

Se tiene la fórmula para pérdida de presión, siendo esta:

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud}}{R \times 1000}$$
$$R = \frac{\text{Presión máxima} + \text{presión atmosférica}}{\text{presión atmosférica}}$$

Donde:

Factor = Dato obtenido de tabla

Longitud = Longitud equivalente

Presión atmosférica = 14.7 PSI

1000 = Constante

**Tabla VI. Factores para el cálculo de pérdida de presión, debida a la fricción en tuberías (Diámetro nominal en pulg.)<sup>23</sup>**

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
5	12,7	1,2	0,5	*	*	*	*	*
10	50,7	7,8	2,2	0,5	*	*	*	*
15	114	17,6	4,9	1,1	*	*	*	*
20	202	30,4	8,7	2	0,9	*	*	*
30	456	70,4	19,6	4,5	2	*	*	*
40	811	125,3	34,8	8,1	3,6	*	*	*
50	*	196	54,4	12,6	5,6	1,5	*	*
60	*	282	78,3	18,2	8	2,2	*	*
70	*	385	106,6	24,7	10,9	2,9	1,1	*
80	*	503	139,2	32,3	14,3	3,8	1,5	*
90	*	646	176,2	40,9	18,1	4,8	1,9	*
100	*	785	217,4	50,5	22,3	6	2,3	*
150	*	*	490	113,6	50,3	13,4	5,2	1,6
200	*	*	870	202	89,4	23,9	9,3	2,9
300	*	*	*	454	201	53,7	20,9	6,6
400	*	*	*	*	*	94,7	37,1	11,7
500	*	*	*	*	*	150	58	18,3
600	*	*	*	*	*	215	83,5	26,3
700	*	*	*	*	*	294	113,7	35,8
800	*	*	*	*	*	382	148,4	46,7
900	*	*	*	*	*	486	188	59,1
1000	*	*	*	*	*	600	232	73
1100	*	*	*	*	*	723	280,6	88,4
1200	*	*	*	*	*	850	344	105,2
1300	*	*	*	*	*		392	123,4

<sup>23</sup> Tomada de la tesis Diseño, Montaje y Mantenimiento de Sistemas de Aire Comprimido, Pedro Juárez Pizza

**Tabla VII. Pérdidas de presión de aire en accesorios de tubería:<sup>24</sup>**

Tipo de accesorio	Tamaño nominal de la tubería (pulg.)							
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
Codo recto	0,85	1,2	1,6	2,2	2,5	3,5	4,5	6
Codo con curvatura (larga)	0,5	0,6	0,8	1,1	1,5	2	2,5	3
Codo en U	1,5	2	2,5	3,5	4	5,5	6,5	8,5
Válvula de globo	2,5	3,5	4,5	6,5	8	11	13	17
Válvula de compuerta	0,35	0,45	0,6	0,9	1	1,3	1,6	2,1
Tee	0,4	0,6	0,8	1,1	1,3	1,7	2,2	2,8

- Para una tubería de 1/2 pulg.

Calculando la longitud equivalente:

13 codos de 90°	= 0.85 X 13 = 11.05 pulg.	= 0.92 pie
10 tees	= 0.4 X 10 = 4.0 pulg.	= 0.033 pie
15 válvulas de globo	= 2.5 X 15 = 37.5 pulg.	= 3.125 pie
Longitud recta	= 75 m.	= 246 pie
Total		= 250.078 pies

De la tabla VI, se obtiene el factor para un flujo de 8.5 pies<sup>3</sup>/min., se tomará el valor de 10 pies<sup>3</sup>/min., el factor es de 50.7.

<sup>24</sup> Tomada de la tesis Diseño, Montaje y Mantenimiento de Sistemas de Aire Comprimido, Pedro Juárez Pizza

$$R = \frac{\text{Presión máxima} + \text{presión atmosférica}}{\text{presión atmosférica}}$$

$$R = \frac{90 \text{ PSI} + 14.7 \text{ PSI}}{14.7 \text{ PSI}} \quad R = 7.12$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud}}{R \times 1000}$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{50.7 \text{ PSI} \times 250.078}{7.12 \times 1000} \quad \text{Pérdida de presión} = 1.78\%$$

Pérdida de presión de 1.78%, número que está abajo del rango de pérdidas permisible, que es entre tres y cinco %, pero se harán cálculos con la tubería siguiente para hacer una comparación.

- Para una tubería de 3/4 pulg.

Calculando la longitud equivalente:

13 codos de 90°	= 1.2 X 13	= 15.6 pulg.	=	1.3 pies
10 tees	= 0.6 X 10	= 6.0 pulg.	=	0.5 pies
15 válvulas de globo	= 3.5 X 15	= 52.5 pulg.	=	4.38 pies
Longitud recta		= 75 mt.	=	<u>246 pies</u>
Total			=	252.18 pies

De la tabla VI, se obtiene el factor para un flujo de 8.5 pies<sup>3</sup>/min., se tomó el valor de 10 pies<sup>3</sup>/min., el factor es de 7.8.

$$R = 7.12$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{7.8 \text{ PSI} \times 252.18}{7.12 \times 1000} \quad \text{Pérdida de presión} = 0.27\%$$

Pérdida de presión de 0.27%, número que también está abajo del rango de pérdidas permisible, que es entre tres y cinco %, y representa un porcentaje menor en pérdidas que con la anterior tubería calculada, por lo que, se diseñará la red de aire comprimido con ese diámetro de tubería y, además, brinda la posibilidad de ampliar el consumo de aire en futuras ocasiones.

#### **4.2.1.2. Material**

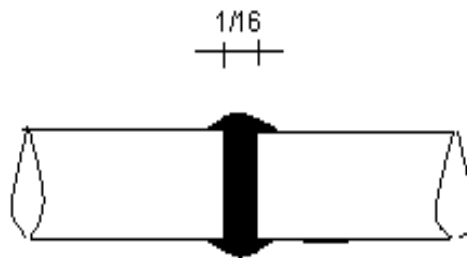
Analizando las diferentes posibilidades de materiales que se mencionaron en el capítulo tres, que son: cobre, hierro negro, latón y acero galvanizado, se elegirá la última opción. Como la tubería quedará instalada de manera permanente, las uniones serán soldadas.

Para soldarlas se procederá de la siguiente manera:

- Se corta el tubo
- Se prepara el tubo calentándolo al rojo vivo con oxígeno/acetileno para eliminar el óxido de zinc. La persona que lleve a cabo esta actividad deberá de proteger sus vías respiratorias usando mascarilla, ya que el humo que se desprende le puede causar serios problemas.
- Se limpia la superficie con un cepillo de alambre.
- Luego soldar las superficies con soldadura oxígeno/acetileno o con soldadura de arco directo. En el primer caso, se usaría alambre de amarre como varilla de aporte y en la soldadura de arco directo se puede usar un electrodo 6011 de 3/32.
- Las normas básicas de soldadura recomiendan que se utilicen 28 amperios por cada 1/32 de núcleo de electrodo utilizado. En este caso, se utilizaría  $28 \times 3 = 84$  amperios.

- Los tubos quedarían soldados de la siguiente forma, con una unión a tope, y dejando aproximadamente 1/16 de espacio entre los mismos para que penetre la soldadura.

**Figura 25. Esquema de unión soldada de tubería de red de aire comprimido**

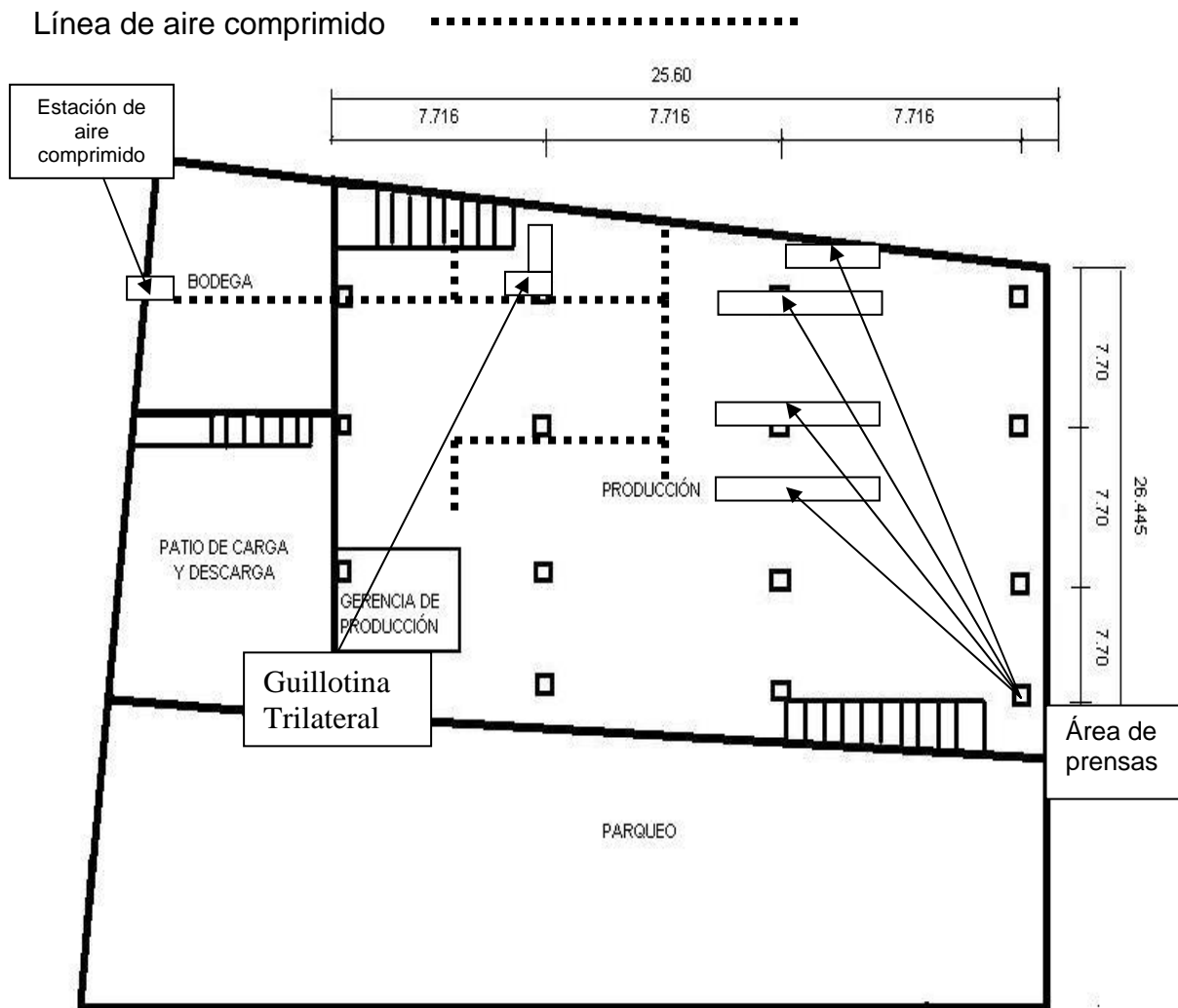


- Ya que se tienen soldadas las piezas, se les aplica un recubrimiento de galvanizado en frío en forma de spray para proteger al tubo de la corrosión, porque el mismo perdió su protección en la zona de soldadura cuando se le aplicó el calor.

#### **4.2.2. Diseño del tendido de la red de aire comprimido**

Analizando las ventajas y desventajas de los sistemas que se presentaron en el capítulo tres, se puede tener una línea de aire comprimido en la planta de producción de forma abierta como lo muestra el siguiente esquema.

**Figura 26. Diagrama de distribución de red de aire comprimido en planta de Delgado Impresos y Cía. Ltda.**



38 AVENIDA ZONA 7 LA FLORESTA, CIUDAD GUATEMALA

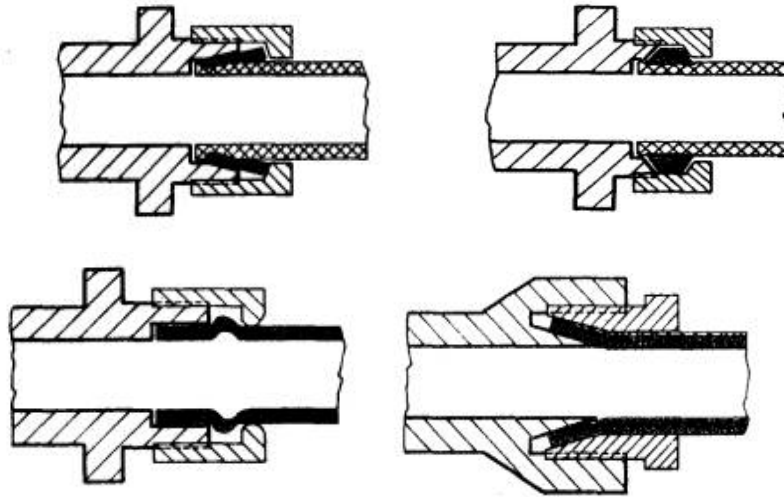




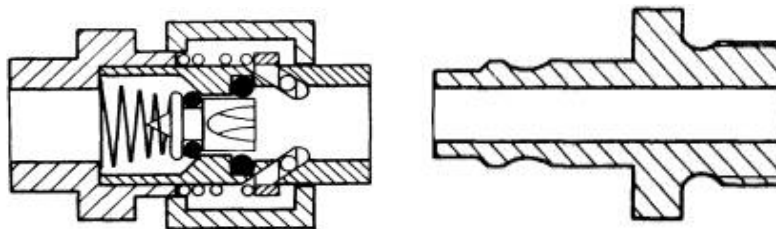
### 4.2.3. Uniones

En la instalación se utilizarán acoplamientos y racores de enchufe rápido para conectar cualquier compresor portátil o algún otro equipo que necesite del aire comprimido de la línea.

**Figura 27. Racores utilizados en una red de aire comprimido<sup>25</sup>**



**Figura 28. Acoplamientos utilizados en una red de aire comprimido<sup>26</sup>**



<sup>25</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

<sup>26</sup> Figura tomada de la página [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

### **4.3. Elección del tipo de compresor**

Con base a los requerimientos de aire comprimido que necesitan todas las máquinas de la planta y que fueron calculadas en los incisos 4.1.1 y 4.1.2, donde también se consideró un porcentaje de las futuras ampliaciones y pérdidas, se necesitó un compresor que cumpliera por lo menos con las siguientes características:

Flujo de 8.5 pies<sup>3</sup> por minuto  
Presión de trabajo de 90 PSI

Se hizo la elección del siguiente compresor de dos cilindros alternativos, ya que supera los requerimientos mínimos de aire:

Marca: Maxus EX8401 (ver figura 31)  
Flujo de aire: 10.3 Pies<sup>3</sup>/min., a 90 PSI  
11.8 Pies<sup>3</sup>/min., a 40 PSI  
Máxima presión: 13.5 PSI  
Voltaje: 240 volts.  
Corriente: 15 amperios  
Trae un acumulador de 60 galones

### **4.4. Elección de los elementos de tratamiento de aire**

Se tiene un flujo de 8.5 p<sup>3</sup>/min. ó 0.24 m<sup>3</sup>/min., a una presión de trabajo de seis bar. En la empresa se realizó la cotización con compresores Kaeser, los cuales presentaron las siguientes características:

Tabla VIII. Datos de secadores de aire Kaeser

Datos técnicos

Modelo <sup>1)</sup>	Flujo volumétrico en m <sup>3</sup> /min a 7 bar sobrepresión de servicio <sup>2)</sup>	Presión diferencial bar <sup>2)</sup>	Potencia efectiva absorbida en kW <sup>2)</sup>		Conexión eléctrica	Conexión de aire comprimido (rosca interior)	Salida de condensado mm	Dimensiones en mm			Peso kg
			a 100% flujo volumétrico nominal	a 40% flujo volumétrico nominal				Altura	Anchura	Profundidad	
TA 5	0,60	0,07	0,25	0,11	230 V 50 Hz 1 Ph	G ¾	DN 6	747	484	630	70
TA 8	0,85	0,14	0,25	0,11							85
TA 11	1,25	0,17	0,28	0,13							85
TB 19	2,10	0,19	0,43	0,19		G 1	DN 6	963	540	620	116
TB 26	2,55	0,20	0,61	0,27							116
TC 31	3,20	0,15	0,73	0,33		G 1¼	DN 10	1009	660	774	155
TC 36	3,90	0,16	0,90	0,36							170
TC 44	4,70	0,15	0,90	0,41	200						
TD 51	5,65	0,11	0,86	0,39	400 V 50 Hz	G 1½	DN 10	1186	759	1125	251
TD 61	7,00	0,15	1,10	0,50							287
TD 76	8,25	0,17	1,40	0,63	50 Hz 3 Ph	G 2	2x DN 10	1540	1060	1480	570
TE 91	10,15	0,15	1,15	0,52							660
TE 121	12,70	0,16	1,45	0,65							660
TE 141	14,30	0,24	1,60	0,72	DN 65	2x DN 9	1900	1060	1757	660	
TE 173	17,00	0,17	2,10	0,95						850	
TF 203	21,00	0,16	2,20	0,99	DN 80	2x DN 9	1900	1060	1757	850	
TF 251	25,00	0,19	2,50	1,13						850	

<sup>1)</sup> Agente refrigerante, R 134a; Sobrepr. máx. de servicio, 16 bar(s); Temp. máx. de entrada de aire / ambiente, 55/43 °C

<sup>2)</sup> Datos de potencia según condiciones de referencia de la norma DIN/ISO 7183, opción A: Sobrepr. de servicio 7 bar(s), temperatura ambiente + 25 °C, Temp. entrada del aire + 35 °C, punto de rocío + 3 °C. En otras condiciones de servicio variarán el flujo volumétrico y la presión diferencial.

Factores de corrección para condiciones de servicio diferentes (flujo volumétrico en m <sup>3</sup> /min x k...)																														
Presión de servicio distinta a la entrada del secador p														Temp. entrada aire comprimido T <sub>e</sub>					Temp. ambiente T <sub>a</sub>											
Modelo	p/bar	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Modelo	T <sub>e</sub> (°C)	30	35	40	45	50	55	Modelo	T <sub>a</sub> (°C)	25	30	35	40	45
TA-TE	k <sub>p</sub>	0,75	0,84	0,9	0,96	1	1,04	1,07	1,1	1,12	1,15	1,17	1,19	1,21	1,23	TA-TE	k <sub>Te</sub>	1,2	1	0,93	0,72	0,5	0,49	TA-TE	k <sub>Ta</sub>	1	0,99	0,97	0,94	0,92
TF	k <sub>p</sub>	0,80	0,71	0,82	0,91	1	1,04	1,06	1,1	1,14	1,16	1,19	1,21	1,23	1,26	TF	k <sub>Te</sub>	1,2	1	0,9	0,68	0,51	0,43	TF	k <sub>Ta</sub>	1	0,98	0,92	0,86	0,86

Cálculo del flujo volumétrico del secador frigorífico en otras condiciones de servicio: Secador frigorífico TB 19 con 2,1 m<sup>3</sup>/min (V<sub>referencia</sub>)  
 Ejemplo: Flujo volumétrico máximo en condiciones de servicio  
 Sobrepr. de servicio: 10 bar(s) > Tabla > k<sub>p</sub> = 1,1  
 Temperatura de entrada del aire comprimido: 40 °C > Tabla > k<sub>Te</sub> = 0,83  
 Temperatura ambiente: 30 °C > Tabla > k<sub>Ta</sub> = 0,99  
 V<sub>máx. cambio</sub> = V<sub>referencia</sub> x k<sub>p</sub> x k<sub>Te</sub> x k<sub>Ta</sub>  
 V<sub>máx. cambio</sub> = 2,1 m<sup>3</sup>/min x 1,1 x 0,83 x 0,99 = 1,90 m<sup>3</sup>/min

Analizando los datos que se tienen, se escogió el modelo TA5.

**Tabla IX. Elección del tipo de secador adecuado**

Modelo <sup>1)</sup>	Flujo volumétrico en m <sup>3</sup> /min a 7 bar sobrepresión de servicio <sup>2)</sup>	Presión diferencial bar <sup>2)</sup>	Potencia efectiva absorbida en kW <sup>2)</sup>		Conexión eléctrica	Conexión de aire comprimido (rosca interior)	Salida de condensado mm	Dimensiones en mm			Peso kg
			a 100% flujo volumétrico nominal	a 40% flujo volumétrico nominal				Altura	Anchura	Profundidad	
TA 5	0,60	0,07	0,25	0,11			DN 6				70
TA 8	0,85	0,14	0,25	0,11		G 3/4		747	484	630	85
TA 11	1,25	0,17	0,28	0,13							85

Según las especificaciones del compresor, el fabricante recomienda utilizar una válvula de purga automática en el depósito de aire comprimido

**Figura 29. Purga automática instalada**



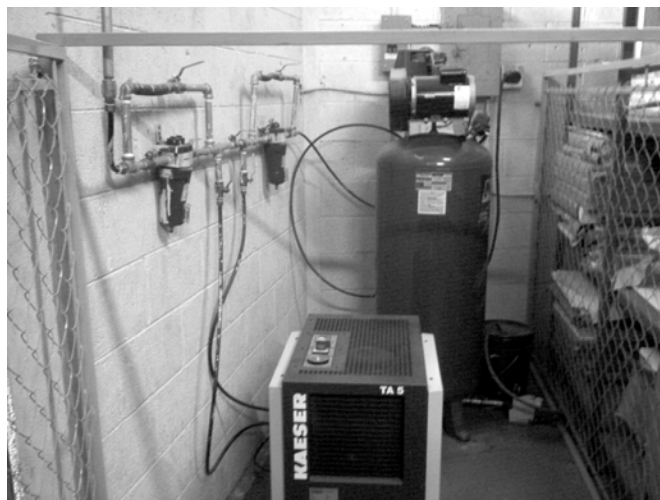
También se instalaron filtros de agua y de partículas de aceite y partículas sólidas en la línea de aire comprimido

**Figura 30. Filtros de agua y aceite instalados**



En la siguiente figura, se puede apreciar una vista general de la instalación final del compresor, acumulador de aire, secador de aire, purga automática y filtros en Delgado Impresos y Cía. Ltda.

**Figura 31. Vista general de la central generadora de aire comprimido**





## 5. MEJORA CONTINUA DEL MANTENIMIENTO

### 5.1. Mantenimiento de una red de aire comprimido

#### 5.1.1. Tuberías y accesorios

##### 5.1.1.1. Detección de fugas

Las fugas representan una gran pérdida en los sistemas de aire comprimido, pero éstas regularmente no son detectadas porque a diferencia de las fugas de vapor o algún otro gas tóxico, éstas no son peligrosas, y por lo tanto no se le da la debida importancia.

Un valor debajo de 5% del sistema en fugas sería un dato aceptable. El método más fácil para obtener el porcentaje que se tiene en la planta de fugas de aire comprimido es el siguiente:

- Determinar el volumen de toda la red en pies cúbicos.
- Se cierran todas las válvulas de los equipos que utilizan aire comprimido.
- Se hace trabajar el compresor con una presión arriba de la presión de trabajo.
- Se toman los tiempos de trabajo del compresor, hasta que alcanza la presión más baja.
- La cantidad en pérdidas se calcula como sigue:

$$Fugas = \frac{V(P_1 - P_2)}{14.7 \times t} = \text{ptas}^3 / \text{min} \leftarrow = 5\%$$

Donde:

V = Volumen en pies cúbicos

$P_1$  = Presión inicial en PSI

$P_2$  = Presión final en PSI

t = Tiempo en minutos

14.7 = Presión atmosférica en PSI

Si se llegaran a detectar fugas, se deben revisar todas las válvulas del sistema y reemplazar las que estén en mal estado. Revisar las mangueras que presenten quiebres y reemplazarlas por mangueras de alta calidad.

### **5.1.1.2. Limpieza**

#### **5.1.1.2.1. En unidades de mantenimiento**

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

- Filtro de aire comprimido: debe examinarse periódicamente el nivel de agua condensada, porque no debe sobrepasar la altura indicada en la mirilla de control. De lo contrario, el agua podría ser arrastrada hasta la tubería por el aire comprimido. Para purgar el agua condensada hay que abrir el tornillo existente en la mirilla. Asimismo, debe limpiarse el cartucho filtrante.
- Regulador de presión: cuando está precedido de un filtro, no requiere ningún mantenimiento.
- Lubricador de aire comprimido: verificar el nivel de aceite en la mirilla y, si es necesario, suplirlo hasta el nivel permitido. Los filtros de plástico y los recipientes de los lubricadores no deben limpiarse con tricloroetileno. Para los lubricadores, utilizar únicamente aceites minerales.



## 5.1.2. Compresor

### 5.1.2.1. Detección de fallas

A continuación se presentan una serie de problemas que se presentan y sus posibles causas:

**Tabla X. Problemas y posibles causas en el compresor**

<b>PROBLEMA</b>	<b>CAUSA</b>
El equipo funciona más de lo necesario para alcanzar la presión de régimen.	Válvulas rotas o defectuosas, tubería con pérdidas, filtros obstruidos.
El compresor funde los fusibles.	Fusibles de poca capacidad, tensión o voltaje reducidos, cojinetes del motor comienzan a pegarse, motor defectuoso.
El compresor no arranca.	Contactos estropeados, motor pegado, relé térmico desajustado, fusibles quemados.
Inconvenientes en el suministro de aire.	Tuberías de admisión obstruidas, filtro sucio.
Calentamiento del compresor.	Válvulas en malas condiciones, dirección de giro incorrecto, filtro de aire obstruido, presión de descarga excesiva, fugas internas, lubricación insuficiente.
Capacidad insuficiente.	Fugas excesivas en válvulas, presión de descarga excesivas, velocidad incorrecta, filtro obstruido, pistones gastados; pérdidas de aire en juntas, fajas patinando.

Continuación.

PROBLEMA	CAUSA
El compresor sobrecarga el motor.	Fajas excesivamente flojas, presión de descarga superior a la normal, velocidad excesiva, tubería de descarga taponada, voltaje reducido, compresor atascado.
Presión insuficiente.	Demanda superior a la capacidad del compresor, cilindros gastados, fugas excesivas en tuberías y en el interior del compresor.
El compresor golpea.	Poleas desprendidas, cojinetes requieren ajustes, juego excesivo de rotor principal, montaje desalineado o desbalanceado.
El compresor vibra.	Sujeción impropia a la fundición o soporte, fundición inconveniente, tuberías no soportadas en debida forma, rotor de motor desequilibrado.
Consumo excesivo de aceite.	Nivel de aceite muy alto, aceite de viscosidad muy ligera, presión de aceite excesiva, cilindros gastados.
El manómetro de aceite no marca presión.	El cárter no tiene aceite, manómetro de aceite estropeado, tubería interior de aceite rota o con fugas, aceite excesivamente fluido, bomba de fluido averiada o gastada.

Fuente: Edwin Manolo Tock Amézquita

### **5.1.3. Drenaje del sistema**

En el caso de la purga automática, que se encuentra en el acumulador, se debe verificar su funcionamiento diariamente, en caso contrario, desmontarla y revisar las partes que presentan problema. Se deben abrir diariamente las purgas manuales instaladas en la red para dejar que salga el condensado acumulado en la tubería de descarga.

### **5.1.4. Lubricación**

La lubricación en el compresor es vital para el buen funcionamiento del mismo. Se recomienda una inspección diaria del nivel del mismo, ya que un nivel bajo de aceite provoca el desgaste excesivo de las piezas al haber más fricción entre las mismas y también un nivel excesivo aumentaría el coeficiente de fricción entre los componentes y elevaría la temperatura, lo cual además provoca que se acumule carbón en las válvulas, reduciendo el flujo libre de aire y provocando explosiones dentro del cilindro.

Es necesario que se consulte el manual del fabricante o se consulte a los distribuidores de aceite para que se use el correcto. Los aceites para lubricación de compresores deben reunir ciertas características, entre las que se destacan:

- Alto índice de viscosidad, para contrarrestar la elevación de temperatura que produce la compresión del gas.
- Desemulsificante, ya que en un compresor existe la posibilidad de que se produzcan condensados y con esto se evita la contaminación.
- Inhibidores de la corrosión y la oxidación, ya que el aire del ambiente tiene oxígeno que puede corroer las piezas del compresor.

### **5.1.5. Medidas de seguridad**

En una red de aire comprimido se pueden presentar algunos riesgos, entre los que se pueden mencionar:

- Las mangueras de conexión pueden estar sometidas durante su utilización, a flexiones, golpes, erosiones, etc., lo que puede traer como consecuencia la ruptura de las mismas, con el consiguiente movimiento repentino de serpiente o látigo, producido por la salida brusca del aire comprimido, y que puede ser causa de lesiones. Este movimiento, de por sí peligroso, puede verse agravado por la presencia de elementos metálicos, como por ejemplo las piezas o racores de conexión.
- Los escapes de aire comprimido pueden producir heridas en los ojos, bien por las partículas de polvo arrastradas, o por la presencia de partículas de agua y/o aceite, procedentes de la condensación de la humedad del aire o del aceite utilizado en el compresor y engrasador.
- El aire comprimido, a alta presión, puede atravesar la piel.
- El aire comprimido, al ser utilizado inadecuadamente, puede penetrar por orificios del cuerpo humano: boca, nariz, oídos y ano, provocando graves lesiones e incluso la muerte. El origen de estos accidentes son debidos a una incorrecta utilización.
- El aire comprimido, al escaparse una vez expansionado en la herramienta, puede dar lugar a elevados niveles de ruido.
- El empleo del aire comprimido para la limpieza de máquinas, bancos de trabajo, etc., o el escape del mismo, puede ser causa de riesgos higiénicos, como son la dispersión de polvos, partículas, etc., así como la formación de nieblas de aceite si el aire proviene de líneas con engrasadores, o atmósferas explosivas.
- Las herramientas pueden ser causa de vibraciones, que puede ser vibración transmitida al sistema mano brazo, lo que ocasiona riesgos

para los trabajadores, en particular, problemas vasculares, de huesos o de articulaciones, nerviosos o musculares y vibraciones transmitidas al cuerpo entero, lo que conlleva la aparición de lumbalgias y lesiones de la columna vertebral, por lo que se tendrá en cuenta la declaración del fabricante sobre las vibraciones de las máquinas portátiles, en su manual de instrucciones.

### **5.1.5.1. Medidas preventivas**

#### **5.1.5.1.1. Actuaciones referentes a la instalación**

- La elección de las mangueras flexibles será la adecuada a la presión y temperatura del aire comprimido, así como, en su caso, ser compatibles con el aceite de lubricación utilizado, para lo cual se recurrirá al fabricante, el cual dará la recomendación específica.
- Cuando se utilicen mangueras flexibles en medios con riesgo de atmósferas explosivas o con riesgo de incendio, se emplearán mangueras anti electricidad estática.
- El grado de resistencia física de las mangueras flexibles será el adecuado al uso que se destina; se emplearán mangueras de gran resistencia en el caso de conducciones semipermanentes, como puede ser el caso de canteras, construcción, etc., mientras que las mangueras de tipo medio y ligero, se destinarán a maquinaria neumática fija. En el caso de pequeñas herramientas portátiles, serán ligeras y de gran flexibilidad.

- Las mangueras flexibles recibirán un trato adecuado, evitando toda erosión, atrapamiento o disposición de materiales encima de ellas, una vez utilizadas se recogerán y guardarán adecuadamente.
- Antes de comenzar el trabajo, se examinarán detenidamente las mangueras flexibles, desechando aquellas cuyo estado no garantice una absoluta seguridad, y no se emplearán cintas aisladoras para taponar escapes.
- El acoplamiento de mangueras se efectuará mediante elementos de acción rápida, que deberán estar diseñados de tal forma que cuando se desconecta el acoplamiento, automáticamente se interrumpa la salida de aire comprimido y se despresurice lentamente la parte desconectada. En el caso de que el diámetro de la manguera sea superior a diez milímetros, su longitud superior a diez metros, o esté sometida a una presión superior a los siete bares, el acoplamiento deberá permitir la despresurización de la parte a desconectar, antes de que la desconexión propiamente dicha pueda realizarse.
- Las tomas a la red de aire comprimido se dispondrán horizontalmente o hacia abajo: la conexión hacia arriba es causa de que se acumule suciedad y se recurra al soplado antes de efectuar la conexión, lo que puede ocasionar desprendimiento de partículas a gran velocidad.
- Cuando se empleen herramientas o equipos que viertan el aire una vez utilizado, directamente a la atmósfera, dispondrán de filtros adecuados, que garanticen la calidad del aire expulsado.
- Cuando se empleen herramientas que trabajen a una presión inferior a la de la línea de aire comprimido a la que están conectadas, se dispondrán reguladores de presión en las mismas, con su correspondiente manómetro. En caso de que la sobrepresión en la herramienta pudiera resultar peligrosa, se dispondrá un dispositivo de fijación de regulador, cuya llave esté en posesión de una persona responsable.

- Se desechará en todo lo posible, el empleo de pistolas de soplado, y en el caso de que sean imprescindibles, sólo se autorizarán las que incluyan boquillas de seguridad para reducir la velocidad de salida del aire comprimido, o bien, se emplearán las que distribuyan el aire en forma de cortina. Se prohibirá expresamente aquellas pistolas en las que la salida del aire se produce a través de un orificio.
- Dado que el escape de aire comprimido a la atmósfera puede ocasionar un elevado nivel sonoro, se efectuarán las mediciones oportunas del mismo y se dotarán a las herramientas de silenciadores de escape. Estos elementos no constituirán en sí un nuevo riesgo, como por ejemplo, que sean susceptibles de salir despedidos por la presión del aire.

#### **5.1.5.1.2. Actuaciones a realizar antes de iniciar los trabajos con una herramienta neumática**

- Comprobar si la presión de la línea, o del compresor, es compatible con los elementos o herramienta que se va a utilizar: se podrá recurrir para ello, por ejemplo, a la placa de características del útil y al manómetro de la red de alimentación. No se debe poner nunca en funcionamiento una herramienta o equipo que no disponga de placa de características, o ésta esté borrada. Si se dispone de un regulador de presión, se comprobará que está en el valor óptimo, desde el punto de vista de la seguridad y eficacia del equipo
- Se comprobará el buen estado de la herramienta, de la manguera de conexión y sus conexiones, además, verificar que la longitud de la manguera es suficiente y adecuada.

- Comprobar el buen funcionamiento de grifos y válvulas. Tener en cuenta que la alimentación de aire comprimido deberá poder ser cortada rápidamente en caso de emergencia.
- Comprobar que se dispone de todos los accesorios que son necesarios para realizar el trabajo.
- Si se han de emplear mangueras, que deban descansar en el suelo; se deberá eliminar la posibilidad de que sean pisadas por cualquier equipo móvil, por ejemplo carretillas, así como de que no son motivo de riesgo de caída para las personas.
- Se dispondrá de la ropa de trabajo adecuada, y de las protecciones personales que sean adecuadas al trabajo a realizar. Si se emplean guantes, comprobar que no dificultan o interfieren en las operaciones de mando de las herramientas.

#### **5.1.5.1.3. Precauciones a adoptar durante los trabajos con una herramienta neumática**

- Si la manguera de la herramienta no permite aproximarse al objeto sobre el que hay que actuar, no tirar de la manguera, aproximar el objeto si es posible o acoplar otra manguera. Probar el conjunto antes de su utilización.
- Antes de efectuar un cambio de accesorio, se cortará la alimentación de aire comprimido.
- Antes de trabajar sobre piezas, asegurarse que están suficientemente sujetas.



- Comprobar que la posición adoptada para el trabajo es correcta; téngase en cuenta que la reacción de la herramienta puede producir desequilibrio y, como consecuencia, balanceo o rebote de la misma.
- Comprobar que la manguera de alimentación de aire comprimido, se encuentra alejada de la zona de trabajo y, por lo tanto, no puede ser afectada por el útil.
- La herramienta se ajustará a la altura de trabajo de cada trabajador, de modo que la herramienta se maneje por debajo del nivel de los codos, enfrente del cuerpo y con un apoyo adecuado en los pies, tal como se aprecia en la figura 32.
- Cuando se empleen herramientas en operaciones repetidas y en el mismo puesto de trabajo, se utilizarán herramientas suspendidas, como se puede ver en la figura 33, cerca del puesto de operación.
- Se utilizará un mecanismo de sujeción sujeto a una estructura por encima del trabajador, y dispondrá de un mecanismo de resorte para que pueda volver a su posición original.

**Figura 32. Correcta posición de la herramienta neumática<sup>27</sup>**



---

<sup>27</sup> Figura tomada de NTP 631 Riesgos en la utilización de equipos y herramientas portátiles, accionados por aire comprimido

**Figura 33. Colocación de herramienta neumática fija<sup>28</sup>**



- Se asegurará que el trabajador puede alcanzar la herramienta con comodidad y que no interfieren con los brazos y movimientos del trabajador cuando se utilicen.
- Las herramientas suspendidas deberán ser del tamaño y peso apropiados.
- Para evitar o reducir la exposición a vibraciones se tendrá en cuenta lo siguiente:
  - Elección de un equipo adecuado, bien diseñado desde el punto de vista ergonómico y generador del menor número de vibraciones posibles, teniendo en cuenta el tipo de trabajo que va a realizar.
  - Suministro de equipo auxiliar que reduzca los riesgos de lesiones por vibraciones, como por ejemplo asas que reduzcan las vibraciones transmitidas al sistema mano-brazo.

---

<sup>28</sup> Figura tomada de NTP 631 Riesgos en la utilización de equipos y herramientas portátiles, accionados por aire comprimido

- Limitación de la duración e intensidad de la exposición.
- Establecer suficientes horarios de descanso.

#### **5.1.5.1.4. Precauciones a adoptar una vez finalizados los trabajos**

- Cortar la alimentación de aire comprimido y purgar la conducción antes de desenganchar el útil.
- Guardar la herramienta y sus accesorios en el lugar o caja apropiada.
- Guardar la manguera en sitio adecuado, al abrigo de toda abrasión, golpes, etc.

#### **5.1.5.2. Formación e información de los trabajadores**

La formación e información, al igual que en toda actividad, es uno de los pilares donde se debe asentar una buena prevención. Particularmente se debe insistir en:

- Los riesgos que presentan una mala utilización del aire comprimido, o su uso en cometidos para los que no está previsto, por ejemplo, limpieza de pelo, ropas, bancos de trabajo, etc., prácticas lamentablemente muy extendidas.
- Insistir reiteradamente, sobre todo para trabajadores jóvenes, el riesgo que representa utilizar el aire comprimido para realizar bromas, aproximando las descargas del mismo a orificios del cuerpo humano. Lamentablemente, todos los años se tiene noticia de algún accidente grave debido a este motivo.
- Entrenar adecuadamente al personal que deba realizar trabajos con aire comprimido.

- Indicar que no se debe acoplar a la máquina ningún accesorio que no esté recomendado por el fabricante, debido al riesgo de que pueda salir despedido.
- Sensibilizar que ante cualquier eventualidad que se presente, se deberá poner en conocimiento de la persona responsable, no recurriendo en ningún momento a realizar una reparación por uno mismo.
- Exigir la utilización de prendas de protección personal cuando sea necesario.
- Disponer en los lugares de trabajo, de normas adecuadas para su realización.

### 5.1.6. Resultados

#### 5.1.6.1. Niveles de ruido

Se tomaron nuevamente 50 mediciones al azar, obteniendo los siguientes Laeq de dB, luego de que se dejó fuera el compresor del área de trabajo y se colocó en un área alejada de la planta.

**Tabla XI. Mediciones de nivel sonoro en planta luego de modificación**

Laeq (DB)	Frecuencia
76	5
77	8
78	12
79	13
80	10
81	2

Fuente: Edwin Tock Amézquita

Se parte de la hipótesis de que la exposición al ruido durante un período largo de trabajo -varios años- sigue una distribución normal, siendo su media  $L_{Aeq,d}$ .

Según ésta hipótesis, la estimación de la distribución normal se realizaría, como se indica en la Norma Francesa (NF - S31 - 084), utilizando la distribución 't' de Student convencional.

El  $L_{Aeq, d}$  está dado por la fórmula:

$$L_{Aeq,d} = \frac{\sum L_i}{n} = \text{Media Aritmética}$$

$$L_{Aeq,d} = \frac{3921}{50} \qquad L_{Aeq,d} = 78.42$$

La desviación estándar = SL

$$SL = \left( \frac{\sum (L_i - L)^2}{n} \right)^{1/2}$$

$$SL = \left( \frac{90.18}{50} \right)^{1/2} \qquad SL = 1.34$$

La lectura de la tabla II, para  $SL = 1.34$  dB y  $n = 50$  da un límite de confianza al 95% igual a cero.

Como el intervalo de confianza es inferior a dos, el número de muestras aleatorias que se tomaron es bueno, por lo tanto,

Intervalo de confianza = 0 dB

El resultado de la medición será entonces:

$$L_{Aeq,d} = 78.42 \pm 0 \text{ dBA}$$

Las medidas se han efectuado con un instrumento de tipo dos, la incertidumbre debida al instrumento será de  $\pm 1$  dBA, siendo la global, entonces, de un dBA. El resultado global de la medición será, por tanto:

$$L_{Aeq,d} = 78.42 \pm 1 \text{ dBA.} \quad \text{ó} \quad 77.42 \leq L_{Aeq,d} \leq 79.42$$

El límite equivalente de exposición diaria de ruido ha alcanzado un valor por debajo de los 80 dBA, nivel que es recomendado según la Organización Mundial de la Salud y el Real Decreto 1386/1989, en la legislación laboral española, que se han tomado como referencia.

#### **5.1.6.2. Repuestos**

Luego de haber hecho la instalación, no se han registrado cambios en piezas neumáticas debido a problemas de condensados.

#### **5.1.6.3. Paros en la producción**

Actualmente, no se han reportado paros en la producción por problemas de la red de aire comprimido y, por lo tanto, no se ha perdido materia prima por la misma causa.





## CONCLUSIONES

1. Dentro de la empresa no se tenía una red de aire comprimido con el tratamiento adecuado del mismo; solamente se contaba con un compresor conectado directamente a las máquinas. Debido a ésta situación, se identificaron varios problemas, entre los que se mencionan los costos de daños en elementos de máquinas, como de paros en la producción, pérdida de materiales, entre otros, para lo cual se diseñó una red de aire comprimido con el debido tratamiento, con base en fórmulas, patrones y estándares establecidos para lo mismo.
2. El excesivo ruido (rango de 85.26 dB a 87.26 dB) de los compresores dentro del taller, dificulta la concentración de los trabajadores y puede ocasionar enfermedades ocupacionales, además de un accidente que derive también en retrasos en la producción, pérdidas de materiales, amputación de uno de sus miembros corporales, y en el peor de los casos la misma muerte, por lo que se hizo la instalación fuera del área de producción para evitar el ruido del compresor. El nivel de sonido diario equivalente de la planta se redujo a un rango entre 77.42 dB y 79.42 dB, que está por debajo de 80, que es el máximo recomendado por la OMS, con lo que se benefició a los trabajadores.
3. Se analizaron todos los elementos necesarios para poder instalar una red de aire comprimido que se pueden resumir en cuatro grupos: la unidad de compresión de aire, elementos de

conducción y elementos de tratamiento de aire y el confort y seguridad del trabajador.

4. Se implementó un plan de mantenimiento de la red de aire comprimido, para que la misma esté disponible en cualquier momento requerido por la demanda de producción.
5. Los costos asociados a la falta de tratamiento de aire comprimido en los cuales incurría la empresa por dicha causa fueron anulados. Al analizar los reportes de gerencia de producción se observa que los elementos neumáticos a partir de la instalación de la nueva red de aire comprimido, no son causa de paros y se redujo la cantidad de los mismos, teniendo como consecuencia una producción más eficiente.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda llevar el control de mantenimiento que se indica en los manuales, tanto del compresor como del secador y filtros, para el correcto funcionamiento de los mismos y alargar su vida útil.
2. Es preciso efectuar una capacitación del personal operativo y de supervisión de la planta en el tema de sistemas de aire comprimido, para que éstos tengan el suficiente conocimiento en el correcto uso del mismo, del mantenimiento y de las medidas de seguridad que se deben tomar en cuenta cuando se trabaja con aire comprimido.
3. Contar con una existencia mínima de repuestos en la planta de elementos de la red de aire comprimido que sufren más desgaste, como por ejemplo las válvulas, para evitar que se tengan paros muy prolongados. Esta existencia mínima se determinará con base en estadísticas llevadas por medio de un mantenimiento predictivo, para evitar también tener un inventario muy elevado que perjudique las finanzas de la empresa.
4. Se debe controlar constantemente el nivel de ruido y otras condiciones de trabajo en la planta, como iluminación, ventilación, etc., para asegurar el confort en el trabajo de las personas. De esta forma se incrementa el rendimiento de los trabajadores y además la empresa se beneficia al elevarse la productividad.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CARNICER ROYO, Enrique. Aire Comprimido. Editorial Paraninfo. Madrid, España, 1990. 292 p.
2. CARULLA Admetler, Miguel, Llandonosa Giró Vincent. Circuitos Básicos de Neumática. Alfaomega. México 1995. 145p.
3. CYRIL M. Harris. Manual de Medidas Acústicas y Control de Ruido. 3ra. Edición. McGraw-Hill. Madrid, 1995. 520 p.
4. JUÁREZ Pizza, Pedro Antonio. Diseño, Montaje y Mantenimiento de Sistemas de Aire Comprimido. Guatemala, USAC, 1979. 82 p.
5. GREENE, Richard W. Compresores: Selección, Uso y Mantenimiento. McGraw-Hill. México 1992. 292 p.
6. MARKS, Lionel S. Manual del Ingeniero Mecánico. McGraw-Hill. México, 1984. 2 vol.
7. OCHOA Pérez, Juan. Medida y Control de Ruido. Marcombo. Barcelona, 1990. 107 p.
8. RIOJA CUESTA, Gonzalo Félix. Manual de Mecánica Industrial. Cultural. Madrid, 1999. 4 Vol.
9. SALVENDRY, Gabriel. Manual de Ingeniería Industrial, Limusa, México 1991. 2vol.

10. SMITH, Edgard H. Manual del Ingeniero Mecánico. Prentice Hall Hispanoamericana S.A. México 1998. 3 Vol.
11. STEWART, Harry, Jefferies, Floyd. Energía Hidráulica y Neumática. Interciencia. Madrid, 1964. 454 p.
12. VV.AA. Neumática. Manual de estudio Nivel Básico. Acisa Festo. 229 p.
13. V.V.A.A. Neumática e Hidráulica. [www.sapiensman.com](http://www.sapiensman.com)

## APÉNDICE

**Figura 34. Sonómetro utilizado para las mediciones de sonido**



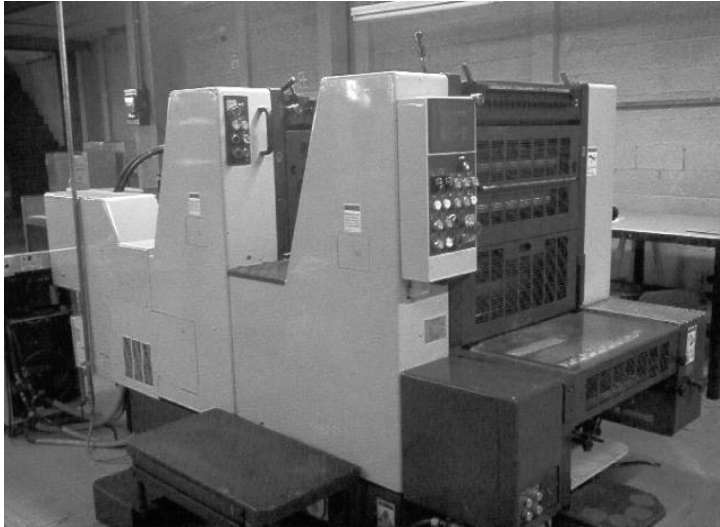
Fuente: Edwin Tock Amézquita

**Figura 35. Máquina impresora de cuatro colores ADAST 745**



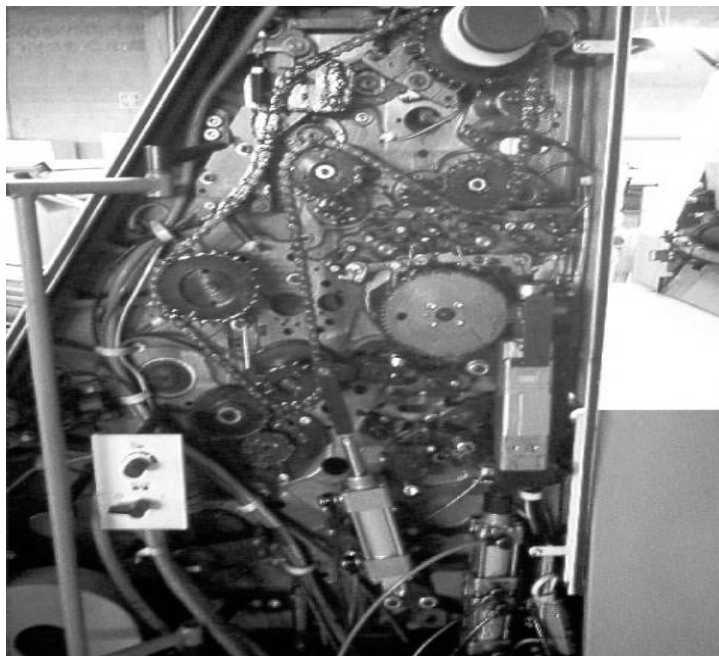
Fuente: Edwin Tock Amézquita

**Figura 36. Máquina impresora de dos colores Shinohara**



**Fuente: Edwin Tock Amézquita**

**Figura 37. Mecanismo neumático impresora ADAST 745**



**Fuente: Edwin Tock Amézquita**



**Figura 38. Guillotina trilateral**



**Fuente: Edwin Tock Amézquita**