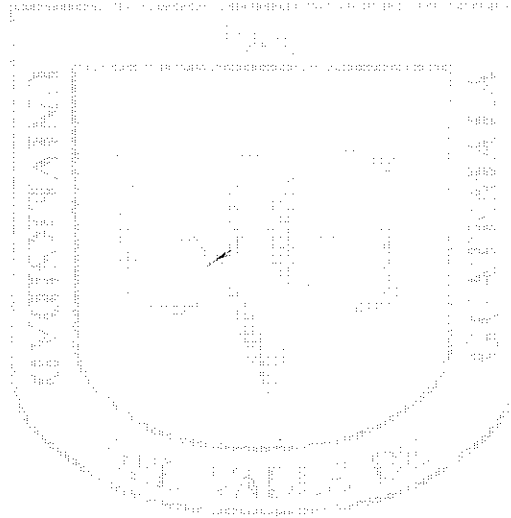


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
INGENIERÍA MECÁNICA



“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA  
ACCIONAR MAQUINARIA INDUSTRIAL EN UNA FÁBRICA  
DE MUEBLES”

CARLOS GUILLERMO DEDET LADD



GUATEMALA  
2002

“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA ACCIONAR MÁQUINARIA INDUSTRIAL EN  
UNA FÁBRICA DE MUEBLES”

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
INGENIERÍA MECÁNICA

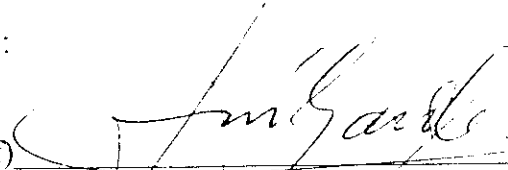
“DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO PARA  
ACCIONAR MAQUINARIA INDUSTRIAL EN UNA FÁBRICA  
DE MUEBLES”

CARLOS GUILLERMO DEDET LADD

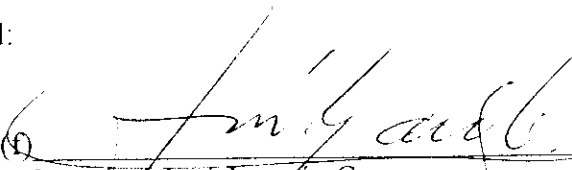
Trabajo presentado para optar al grado académico de  
Ingeniero Mecánico

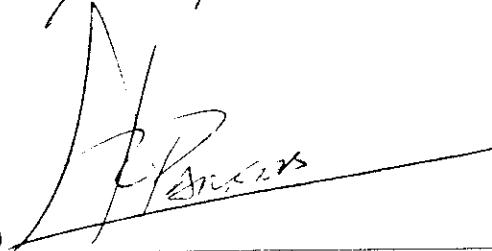
GUATEMALA  
2002

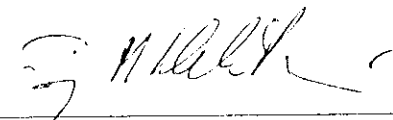
Vo. Bo. :

(f)   
Ingeniero José Joaquín Garoz

Tribunal:

(f)   
Ingeniero José Joaquín Garoz  
Asesor

(f)   
Ingeniero Carlos Paredes

(f)   
Ingeniero Sigrud Mocklebust



## CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	DATOS TEÓRICOS.....	2
	A. DEFINICIONES Y TERMINOS.....	3
	B. SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	4
	1. SISTEMA EN CIRCUITO ABIERTO.....	4
	2. SISTEMA EN CIRCUITO CERRADO.....	5
	3. SISTEMA EN CIRCUITO MIXTO.....	5
	4. SISTEMA CENTRALIZADO.....	5
	5. SISTEMA DESCENTRALIZADO.....	6
	C. ELEMENTOS DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO.....	6
	1. COMPRESOR.....	6
	2. VÁLVULAS.....	12
	3. ACCESORIOS.....	15
	4. SELLANTES.....	15
	5. ACOPLER.....	15
	6. FILTROS.....	16
	7. MANÓMETROS.....	18
	8. REGULADORES DE PRESION.....	19
	9. LUBRICADORES.....	19
	10. DEPOSITOS DE AIRE.....	21
	11. ELEMENTOS CONDUCTORES.....	21
	12. ENFRIADORES DE AIRE.....	21
	13. SECADORES DE AIRE.....	22
III.	DISEÑO DE LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO.....	23
	A. DETERMINACION DEL FLUJO MÁXIMO.....	23
	B. DETERMINACION DE PRESION MÁXIMA.....	23
	C. SELECCIÓN DEL COMPRESOR.....	24

D.	CALCULO DEL DEPOSITO DE AIRE.....	24
E.	CALCULO DE LA LINEA.....	25
IV.	SITUACION ACTUAL.....	34
A.	DESCRIPCION DE LA FABRICA.....	34
B.	DESCRIPCION DEL EQUIPO ACTUAL.....	35
V.	NUEVOS REQUÉRIMIENTOS.....	38
A.	DESCRIPCION DE LA MAQUINARIA A ADQUIRIR.....	38
VI.	CALCULOS Y RESULTADOS.....	39
A.	TABLA DE DATOS.....	39
B.	SELECCIÓN DEL SISTEMA.....	40
C.	FLUJO MÁXIMO.....	41
D.	PRESION MÁXIMA.....	42
E.	DIAMETRO DE TUBERÍA.....	42
F.	GASTOS DE OPERACIÓN.....	47
VII.	RECOMENDACIONES.....	51
VIII.	CONCLUSIONES.....	58
IX.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

## I. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de graduación se refiere al diseño de un sistema de aire comprimido que será utilizado para accionar maquinaria industrial. Dicha maquinaria se utilizará en una fábrica dedicada a la producción de recámaras de dormitorio, cuya materia prima es madera prensada.

Debido a la aceptación de los muebles producidos, la fábrica se ve en la necesidad de aumentar su producción. Para lograr alcanzar la meta establecida, es necesaria la implementación de maquinaria de última generación. Dicha maquinaria es equipo industrial que requiere de aire comprimido para su accionamiento y en la actualidad la fábrica tiene un sistema de aire comprimido mal diseñado y con grandes pérdidas.

Por tal motivo, se presenta como objetivo principal de este trabajo de Tesis la elaboración del sistema de aire comprimido más adecuado para satisfacer la demanda del equipo que actualmente posee y la maquinaria que dicha fábrica adquirirá. Y así transformar su producción artesanal a una producción en serie.

Para cumplir con el objetivo, se reunió información referente a cada uno de los elementos que conformarán el sistema, así como criterios de diseño, cálculos, montaje y mantenimiento apoyándome en los conocimientos adquiridos en el transcurso de mi formación profesional.

## II. DATOS TEORICOS

### A. Definiciones y términos utilizados en los sistemas de aire comprimido

1. Aire. Fluido gaseoso, incoloro, insípido e inoloro que resulta de la mezcla de varios gases. Su composición aproximada en volumen es 78.03% Nitrógeno, 20.99% Oxígeno, 0.94% Argón, 0.03% Bióxido de Carbono, 0.01% Hidrógeno, Xenón, Kriptón y otros gases.

2. Aire húmedo. Se dice del aire que contiene un porcentaje apreciable en su composición de vapor de agua. Generalmente el aire atmosférico es aire húmedo.

3. Aire seco. Se dice del aire en el cual el contenido de vapor de agua es cero.

4. Presión. Fuerza ejercida por unidad de área.

-Presión Atmosférica: Presión ejercida por la atmósfera sobre la superficie terrestre. Esta presión no es constante en todos los puntos de la superficie terrestre debido a que se ve afectada por la altura; se determina como presión atmosférica normal, la presión existente al nivel del mar cuyo valor es de 14.7 lbs/pulg<sup>2</sup> o 1.033 kg/cm<sup>2</sup> 0 1 atm.

-Presión Manométrica: Presión registrada dentro de un sistema; presión por encima o debajo de la presión atmosférica.

-Presión Absoluta: Presión atmosférica más presión manométrica.

-Presión Parcial: Presión que tendría un componente de una mezcla si este ocupara el volumen total de la mezcla a la temperatura de la misma.

-Presión de Vapor: Presión parcial correspondiente al agua o al vapor saturado.

-Presión de Saturación: Presión correspondiente al cambio de fase a una temperatura determinada.

5. Volumen. Lugar que ocupa todo cuerpo en el espacio.

-Volumen específico ( $V_s$ ): Relación entre el volumen de un cuerpo y su masa.

$$V_s = V/m$$

6. Densidad ( $\rho$ ). Relación entre la masa de un cuerpo y su volumen; es el inverso del volumen específico.

$$\rho = m/V = 1/V_s$$

7. Humedad específica ( $\omega$ ). Conocida también como Humedad Absoluta o Razón de Humedad y es el cociente de las masas de vapor de agua presente en el aire ambiente entre la masa de aire seco.

8. Humedad relativa. *Relación de la presión parcial del vapor de agua en la mezcla a la presión de saturación.* Para cálculos 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.

$$\varphi = P_v / P_g = X / X_s$$

Donde:  $\varphi$  = 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.

## B. Sistemas de aire comprimido

Los sistemas de aire comprimido pueden diseñarse para su operación en tres maneras: Sistema en Circuito Abierto, Sistema en Circuito Cerrado y Sistema en Circuito Mixto. A continuación se presenta una descripción de cada uno de los sistemas mencionados.

1. Sistema en circuito abierto. La utilización de éste, está limitado a aquellos sistemas en los que sus puntos de uso son pocos y el compresor se encuentra localizado cerca de ellos. Por esta razón su aplicación en instalaciones grandes es reducida. Además, debido a la presencia de fluctuaciones en la presión de la línea, requiere una mayor supervisión en cuanto al control de la presión y flujo durante el período de operación.

En este sistema, el flujo es en una sola dirección. Esto permite la instalación de filtros y reguladores sobre la línea principal, manteniendo la misma con alto grado de limpieza. Esto constituye una fuerte ventaja del sistema en circuito abierto.

2. Sistema en circuito cerrado. En el diseño de líneas principales de distribución de aire comprimido, este es el sistema más utilizado. Esto se debe a que la velocidad del flujo en los puntos de uso es constante ya que el flujo se comparte en la línea y converge en el punto de uso en dos direcciones. Esta es una ventaja que se presenta sobre el sistema de circuito abierto.

Debido a que los filtros separadores traen definida la dirección del flujo, es imposible colocar los mismos en la línea principal y por lo mismo son colocados en los puntos de uso.

3. Sistema en circuito mixto. Como lo indica el nombre del sistema, éste consta de la combinación de los sistemas mencionados previamente. El circuito cerrado se aplica a la línea principal y el circuito abierto en los ramales de distribución.

Este sistema nos presenta la ventaja de captar las características individuales de cada uno de los sistemas anteriores, con la posibilidad de adecuarlas según sean los requerimientos.

Basándose en la ubicación de los compresores dentro de la planta, los sistemas de aire comprimido pueden clasificarse en: Sistema Centralizado y Sistema Descentralizado.

4. Sistema centralizado. En este sistema se tiene una planta central de distribución compuesta de uno o varios compresores. Las ventajas de este sistema son:

- El compresor tiene una capacidad real más baja que puede significar un costo inicial más bajo para el montaje del mismo;
- También se tiene una eficiencia más alta;
- Y un costo de mantenimiento menor.

5. Sistema descentralizado. Sistema en el cual se tienen unidades distribuidas en diferentes secciones de la planta, circuitos independientes por sección. Este sistema presenta las siguientes ventajas:

- Rendimiento y presión variables para cada sección;
- Menor diámetro y largo de tubería, que reducen pérdidas;
- No se requiere de montajes especiales;
- Las fallas tienen efectos locales únicamente;
- Y los compresores auxiliares pueden ser unidades pequeñas.

### C. Elementos de un sistema de aire comprimido

1. Compresor El compresor es una máquina que aspira aire del ambiente a presión atmosférica y lo comprime para elevar la presión que almacena energía para ser utilizada en el accionamiento de equipos o herramientas neumáticas.

La unidad fundamental de un sistema de aire comprimido es el compresor; el que por la forma de comprimir el aire puede clasificarse en: Compresores de Desplazamiento Positivo y Compresores Dinámicos.

- Compresores de desplazamiento positivo. Este tipo de compresor aumenta la presión por reducción del volumen en la cámara donde se encierra el gas. Esta acción es aprovechada para dar un servicio con elevada relación de presión, aunque presenta altas temperaturas y condensación lo que produce cierto grado de dificultad.

Dentro de este grupo se encuentran los siguientes compresores: Compresores Alternativos de Pistón, Compresores Alternativos de Diafragma, Compresores Rotativos, Compresores de Tornillo, Compresores de Lóbulos Rectos.

\* Compresores Alternativos de Pistón: Es el tipo de compresor más común y más antiguo de desplazamiento positivo. Son utilizados en sistemas que requieren altas presiones, debido a su elevada eficiencia a cargas parciales o a plena carga. Su funcionamiento se basa en el diagrama de la figura 1.

En el punto 4, el pistón se encuentra en el punto muerto superior (PMS) que indica su carrera descendente; el volumen remanente dentro del cilindro se expande hasta alcanzar la presión en el punto 1, en dicho momento la válvula de admisión se abre y es introducido el aire a presión ambiente dentro del cilindro por el movimiento descendente del pistón. Cuando el piston alcanza el punto muerto inferior (PMI) en el punto 2, se cierra la válvula de admisión y el aire se comprime por la carrera ascendente del pistón. Dicha carrera culmina en el punto 3, donde la válvula de escape se abre y permite la descarga del aire comprimido hasta alcanzar el punto 4, donde el ciclo empieza de nuevo.

En la figura 2 se muestra el diagrama real de un compresor alternativo, el cual varía respecto del diagrama teórico debido a efectos de la fricción por resistencia en válvulas, canales, filtros y fugas.

En el diagrama real, existe un descenso en la presión en el punto 1, ya que se requiere de un intervalo de tiempo para que la válvula de admisión se abra por completo; lo que provoca una subpresión 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 vencer la resistencia de la válvula de descarga y la fricción en los conductos.

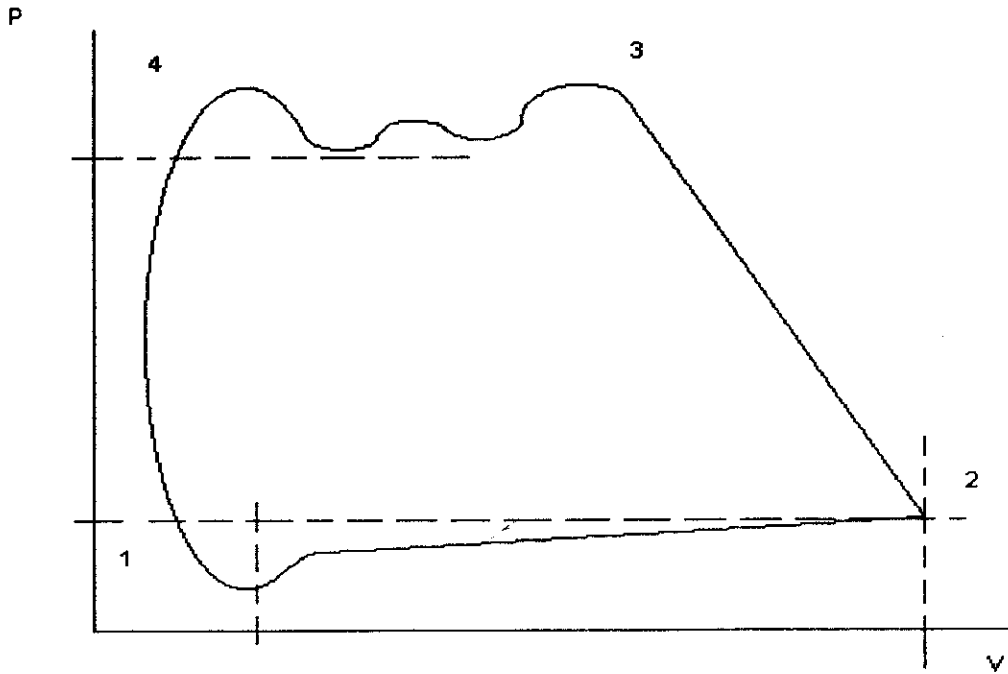


FIGURA 1

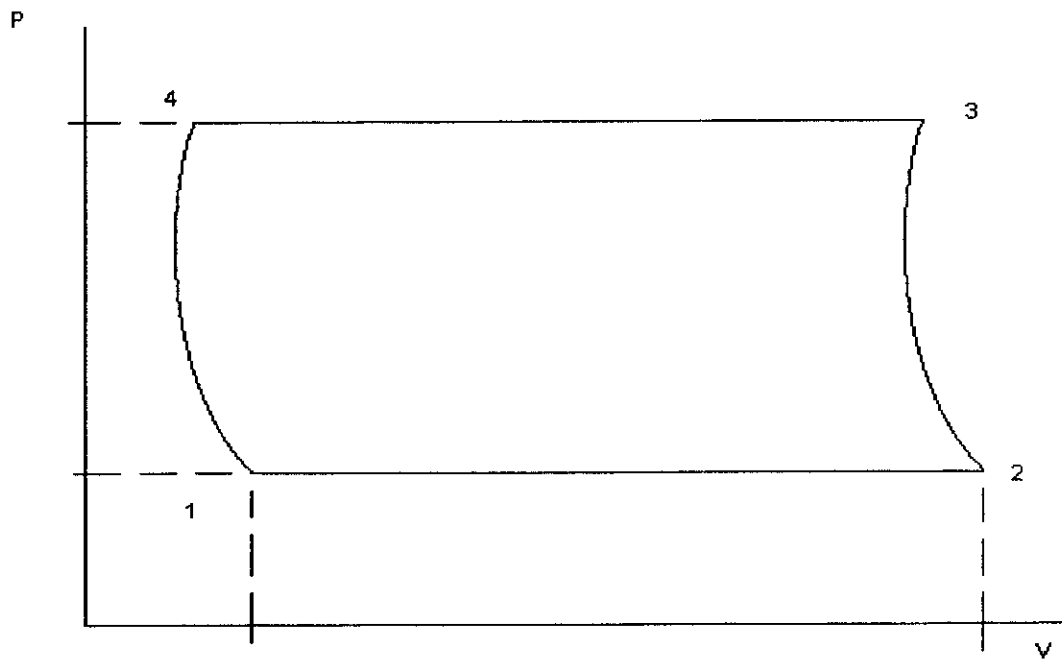


FIGURA 2

Al referirse a las carreras de admisión y compresión, existen dos tipos de compresores alternativos de pistón: de Simple Efecto y de Doble Efecto. Los primeros, realizan una carrera de admisión y una de compresión por cada revolución del cigüeñal. La disposición de sus componentes es similar al de un motor de gasolina. En los segundos, el pistón posee dos caras, por lo que realizan dos carreras de admisión y dos de compresión por revolución del cigüeñal.

Al clasificar los compresores alternativos de pistón por la forma o procedimiento para la compresión del gas, se tienen los Compresores de Una Etapa y los de Etapas Múltiples. En los de una etapa, la compresión del aire desde la presión inicial a la final, se realiza en un solo paso o etapa; el aire aspirado es comprimido hasta llevarlo a la presión requerida. En los de etapas múltiples, el aire aspirado es comprimido hasta una presión menor que la requerida, luego es descargado a un enfriador para disipar el calor de la compresión; se comprime de nuevo, se repite el proceso anterior que depende del número de etapas, hasta llevarlo a la presión requerida. Este último compresor, presenta la ventaja de entregar un aire más frío a presiones elevadas sin riesgo de sobrecalentamientos.

\* Compresores Alternativos de Diafragma: Como su nombre lo indica, estos compresores a diferencia de los compresores alternativos de pistón, tienen una membrana flexible o diafragma en lugar de un pistón.

Las membranas pueden ser activadas por medios mecánicos o hidráulicos. La activación mecánica se realiza por medio de una excéntrica colocada sobre el rotor, la cual acciona una biela que está sujeta a la membrana. La activación hidráulica consta de una bomba de presión de pistón, el que es accionado directamente desde el cigüeñal por medio de una biela, el mismo eleva la presión del fluido que actúa en la parte inferior de la membrana con lo que produce el movimiento alternativo.

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

\* **Compresores Rotativos:** Estos compresores tienen la característica de no poseer válvulas, constan sólo de lumbreras tanto en la admisión como en la descarga. Entre estos compresores están los Compresores de Aletas y los Compresores de Anillo Líquido.

Los primeros constan de una carcasa cilíndrica dentro de la que va montado un rotor ranurado en forma excéntrica. En dicho rotor van colocadas aletas deslizantes en forma radial. El aire es aspirado de la lumbrera de admisión, colocada en la parte más excéntrica y entra al espacio entre aletas, al girar el rotor el volumen de aire o gas disminuye hasta alcanzar la lumbrera de descarga.

Los segundos, compresores de Anillo Líquido, están constituidos por un rotor de 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, regularmente agua, la que forma un anillo dentro del cilindro por la fuerza centrífuga, lo que forma la cámara de compresión dentro de la cual se reduce el volumen.

\* **Compresores de Tornillo:** La parte principal de estos compresores consta de un par de elementos en contrarrotación, con canaletas helicoidales que engranan entre sí. Dichos elementos se encuentran encerrados dentro de una cubierta hermética. El aire es aspirado en un extremo en donde las canaletas se encuentran abiertas y es atrapado cuando dichas canaletas engranan. Al continuar el ciclo de rotación, como consecuencia de la reducción del volumen dentro de las canaletas, el aire es comprimido hasta llevarlo al punto de descarga.

\* **Compresores de Lóbulos Rectos:** Compresores compuestos por dos lóbulos rectos colocados dentro de una carcasa, los que engranan en contrarrotación. La compresión se produce por contra flujo, cuando el rotor deja abierta la compuerta de descarga. Estos son compresores de desplazamiento positivo, pero su funcionamiento está limitado a bajas relaciones de presión, por lo que se les denomina comunmente como sopladores.

- **Compresores Dinámicos.** A diferencia de los compresores de desplazamiento positivo, estos compresores realizan la compresión indirectamente. Inicialmente se le imprime una velocidad al aire y luego, esta energía cinética es convertida en energía de presión.

Generalmente, este tipo de compresor está compuesto de una sola pieza móvil, un rotor de aspas, que gira dentro de una carcasa hermética. Estos compresores, regularmente, son unidades grandes y son utilizadas en sistemas con requerimientos de abastecimiento de aire muy grandes y presiones relativamente moderadas. Están clasificados en Compresores Centrífugos y Axiales.

\* **Compresores Centrífugos:** El gas es acelerado desde el centro de una rueda giratoria por acción de la fuerza centrífuga hasta la periferia, en donde el fluido es conducido a un difusor para convertir la energía cinética en energía de presión; por esto se dice que es un compresor de flujo radial.

Al tener una compresión por etapas, el gas es desacelerado y devuelto al eje, entre cada etapa, por medio de aspas directrices fijas. La ventaja que presentan estos compresores es poder mantener la presión constante al tenerse cargas variables.

\* **Compresores Axiales:** El flujo del gas se realiza en forma axial, que es acelerado por una serie de paletas rotativas y estacionarias colocadas alternadamente. Las paletas rotativas le imprimen velocidad al gas y las estacionarias la convierten en presión, a la

vez que reencauzan la dirección de flujo a lo largo del eje. Se caracteriza por producir una entrega de flujo constante a presiones moderadas.

2. Valvulas. Mecanismos utilizados para interrumpir o regular el flujo; además se utiliza para evitar sobrecargas de presión en depósitos o compresores. Se clasifican en Válvulas de Abastecimiento y de Seguridad.

- Válvulas de Abastecimiento: Utilizadas para controlar el flujo de aire en las líneas de distribución del sistema de aire comprimido. Comúnmente se encuentran válvulas de Compuerta, de Globo y de Diafragma.

- Válvulas de Compuerta: Usadas en donde se requiere del flujo completo y cuando la misma debe permanecer continuamente abierta o cerrada. Consiste de un cuerpo dentro del que está colocado un disco en forma de cuña, que se acopla a un asiento en la misma forma, figura 3. El disco es accionado por un tornillo para elevarlo o bajarlo según sea la necesidad de abrir o cerrar, respectivamente.

- Válvulas de Globo: Empleadas cuando se requiere de estrangulamiento del flujo o en casos en los que con frecuencia se requiere abrir o cerrar el flujo. Tiene la característica de que el asiento se encuentra directamente opuesto al orificio superior del cuerpo de la válvula, figura 4.

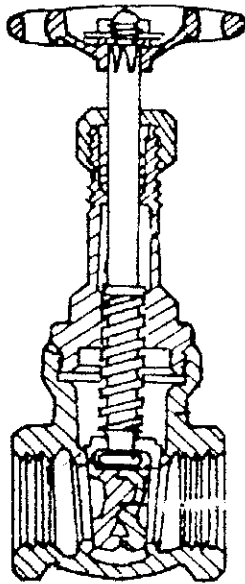


FIGURA 3

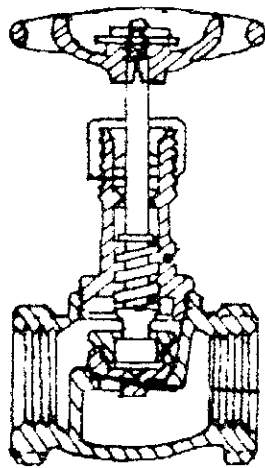
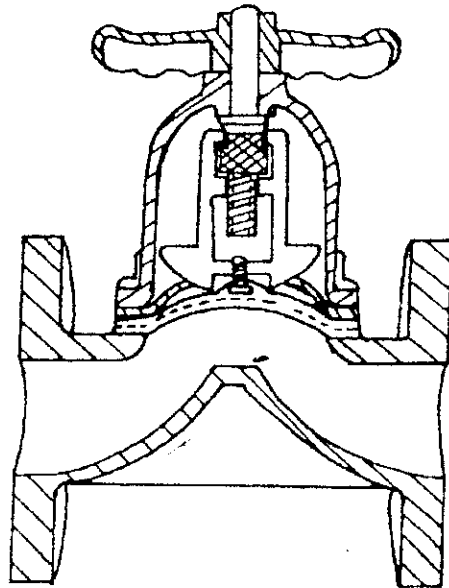


FIGURA 4



**FIGURA 5**

-Válvulas de Diafragma: Estas válvulas presentan baja resistencia al flujo de gas y hermeticidad al cerrarse, el cual evita pérdidas de presión y fugas, respectivamente. Por este motivo se recomienda su utilización en sistemas de aire comprimido.

Consta de un diafragma accionado por un tornillo y cuerpo, figura 5. Al estar abierto, el diafragma aísla completamente el cuerpo de la válvula y evita cualquier contacto del gas con el mismo, lo que disminuye las pérdidas por fricción. Al cerrarse proporciona un cierre hermético dadas las características flexibles del diafragma.

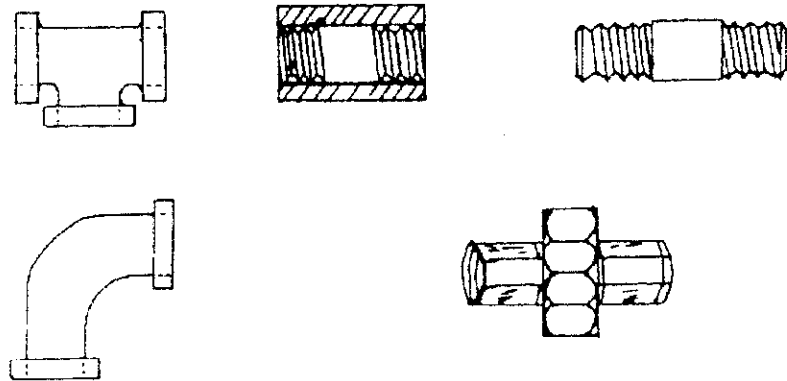
-Válvulas de Seguridad: Están diseñadas de tal forma que permiten el control de las sobrecargas de presión dentro del sistema de aire comprimido. Generalmente se instalan en el depósito de aire, aunque también son instaladas entre etapas en los compresores de etapas múltiples.

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

3. Accesorios. Los accesorios más utilizados en las líneas de distribución de aire son Codos, Téés, Reducidores y Acoples (Fig. 6). Generalmente, estos accesorios son elaborados de hierro galvanizado, aunque en algunos casos se utiliza el cobre. Los accesorios pueden ser suministrados para uniones de rosca o por medio de bridas; las uniones roscadas son utilizadas para diámetros de hasta cuatro pulgadas y la utilización de bridas se da para diámetros mayores de 4 pulgadas. Es recomendable que los accesorios sean del mismo diámetro de la tubería y que los codos sean de curvatura grande, para reducir las pérdidas por fricción.

4. Selladores. Su función principal es no permitir los escapes de aire en los accesorios y en los diferentes componentes auxiliares del sistema. El sellante más utilizado y que presenta buenas condiciones para los propósitos de aire comprimido es el cáñamo impregnado en Minio. Otro tipo de sellante utilizado es la cinta plástica de teflón sin sintetizar.

5. Acoples Rápidos. En instalaciones en las que se requiere movilizar las herramientas continuamente a otros puntos de la planta o donde se utilizan diferentes herramientas en un mismo punto, se ha generalizado el uso de acoples rápidos, ya que la conexión o desconexión puede realizarse el tener presión en la línea, pues cuenta con un dispositivo que cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo o manguera.

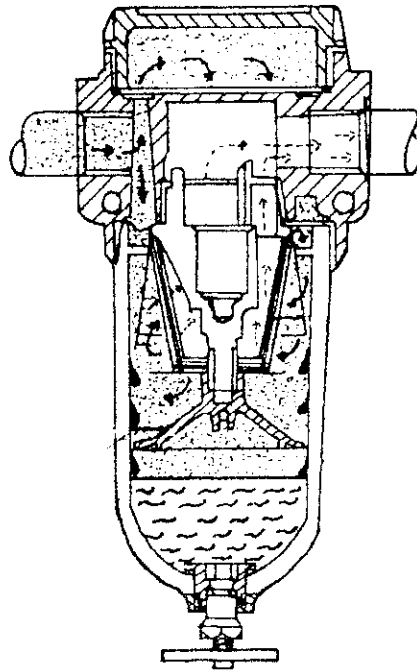


**FIGURA 6**

6. Filtros. Estos pretenden eliminar las impurezas que se presentan en el aire tales como polvo, sólidos abrasivos y condensados. Los filtros utilizados en un sistema de aire comprimido son Filtros de Admisión y Filtros Separadores.

- Filtros de admisión: Estos filtros evitan que las partículas de polvo y otros sólidos presentes en el aire puedan mezclarse con el aceite lubricante y produzcan desgaste excesivo en las partes mecánicas del compresor. Las condiciones básicas que debe reunir este tipo de filtros son: Primero, alta capacidad para remover materiales abrasivos que incluyen partículas muy diminutas; Segundo, buena capacidad de acumulación, sin una significativa disminución de la eficiencia del filtrado y del flujo de aire.

Los filtros más utilizados en compresores de aire son: Filtros de Papel, Filtros de Laberinto impregnados en aceite, Filtros de Fieltro, y Filtros con baño de aceite. La selección del filtro se hace de acuerdo al requerimiento del aire; por ejemplo en donde se requiere aire exento de aceite se recomienda la utilización de un filtro de papel o de fieltro.



**FIGURA 7**

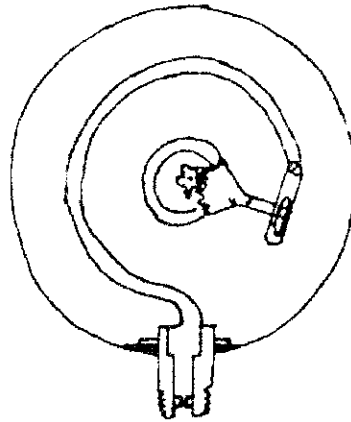
- Filtros-Separadores: El aceite emulsionado proveniente del compresor, puede formar depósitos de una sustancia gomosa similar al barniz que daña la herramienta y el equipo, por esta razón es indispensable la utilización de estos filtros (Figura 7). Además, pueden detener las partículas de polvo y sustancias sólidas no atrapadas por el filtro de admisión, que pueden formar costras en las tuberías y provocar pérdida de presión u obstrucción de la tubería. Tres factores importantes deben observarse en estos filtros:

- 1.- La eficiente remoción de líquidos y partículas sólidas.
- 2.- La necesidad de observar el estado de la línea y proveerla de un drenado y limpieza eficiente.
- 3.- El porcentaje de flujo debe considerarse antes de determinar el tamaño del tubo, ya que si el filtro es muy grande, la velocidad del gas será muy baja. Si por el contrario, es demasiado pequeño, se corre el riesgo de tener una alta caída de presión, por la restricción del flujo.

La capacidad de filtrado depende de la rama de la industria en la cual se utilice el sistema de aire comprimido. La mayoría de las industrias utilizan filtros con capacidad de hasta cinco micrones. Con requerimientos de pureza mayores, se utilizan filtros de carbón activado y en industrias que requieren aire totalmente estéril se utilizan filtros especiales que no permiten la producción o crecimiento de bacterias.

Para los distintos sistemas de aire comprimido, se tienen filtros-separadores de drenado automático o manual.

7. Manómetros. Son utilizados para el control visual de la presión. Los más utilizados son los manómetros de tipo resorte, los cuales dan una lectura de presión por medio de una aguja sobre una escala graduada (Figura 8). Su funcionamiento consiste de un tubo metálico curvado, cerrado en un extremo y por el otro conectado a la línea que se va a medir; al aumentar la presión interna, el tubo tiende a enderezarse y acciona un eslabón que actúa directamente sobre la aguja.

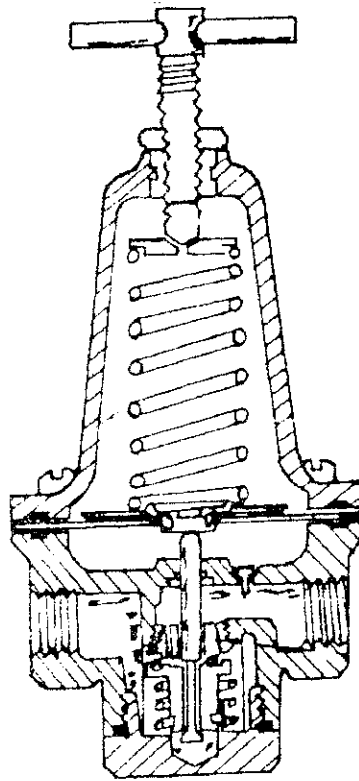


**FIGURA 8**

8. Reguladores de Presión. Para lograr el rendimiento óptimo de los equipos neumáticos, deben operar a las presiones recomendadas por el fabricante. Los reguladores de presión se utilizan para proporcionar dicha presión, y mantienen estables las condiciones del flujo aguas abajo, sin importar que en la tubería principal existan fluctuaciones.

Están compuestos de un diafragma flexible, que controla una válvula por medio de una espiga y de un resorte que es presionado contra el diafragma por la acción de un tornillo regulador, figura 9. Al estar el tornillo completamente libre, no se aplica ninguna carga sobre el resorte y se cierra la válvula de paso. Al apretar el tornillo, se aplica una carga sobre el resorte, la que es transmitida a la válvula por medio del diafragma, lo que permite la abertura de la misma. Al aumentar la presión regulada, aumenta también la presión contra el diafragma y lo fuerza a comprimir el resorte hasta que la carga ejercida sea igual a la de la presión regulada, con lo que logra la estabilidad del flujo.

9. Lubricadores. Son utilizados para la lubricación de las herramientas y equipo en el sistema. El aceite presente en la tubería, proveniente del compresor no es el adecuado para dicha lubricación debido a que por la temperatura y el emulsionamiento dentro del compresor pierde sus propiedades lubricantes, por lo que debe ser drenado antes del punto de utilización.



**FIGURA 9**

El funcionamiento del lubricador está basado en la igualdad de presiones dentro del depósito del lubricador y la línea, debido a un orificio que tiene el tubo de venturi del lubricador. Por esta igualdad de presiones, el aceite sube por un tubo de aspiración hasta una cámara colocada por encima del punto de goteo. A medida que el aceite cae en el tubo de venturi y entra en contacto con la corriente del gas, se pulveriza y se forma una neblina de aceite que es transportada al punto de uso. La velocidad de alimentación del

aceite se regula con un cuenta gotas, que permite el suministro adecuado según requerimientos particulares.

10. Deposito de aire. Su función principal es almacenar el aire, pero también tiene como propósito la absorción de las pulsaciones de la línea de descarga del compresor que dan un flujo más constante a la línea de distribución y permite la condensación de la humedad y del aceite, con un drenado posterior. Los depósitos pueden ser horizontales o verticales, independientemente de su capacidad, y vienen provistos de una válvula de seguridad, un manómetro y un grifo o válvula de drenado.

11. Elementos Conductores. Las tuberías y mangueras son los elementos utilizados como medios de conducción en los sistemas de aire comprimido.

En las líneas principales de conducción de aire se suele utilizar tuberías de acero o hierro galvanizado, por su resistencia a la corrosión; aunque también pueden utilizarse tuberías de cobre, pero son de costo elevado y necesitan accesorios especiales.

Las mangueras son utilizadas para el accionamiento de herramientas. Son compuestas de un forro interior liso resistente a la neblina de aceite, una capa intermedia resistente a la presión y un forro externo resistente a los solventes y a la abrasión. El material utilizado para la fabricación de las mangueras es el hule, para usos en trabajos rudos como construcción y minería, y el plástico para usos en trabajos menos rudos.

12. Enfriadores de aire Los enfriadores de aire tienen como objetivo condensar y recolectar la mayor parte de vapor de agua presente en el aire antes de entrar a la línea principal de distribución. Existen enfriadores por circulación de agua y de aire.

- Enfriadores por circulación de agua: Consisten en un cárter de acero, que contiene un serpentín en el que circula aire en una dirección y agua en la dirección opuesta para lograr la mayor transmisión de calor posible. Un enfriamiento adecuado presenta una

diferencia de temperatura entre el aire comprimido enfriado y el agua para enfriamiento de aproximadamente 18°F (10°C).

- Enfriadores por circulación de aire: Constan de un serpentín por el cual se hace pasar el aire comprimido que fuerza una corriente de aire frío por la parte externa utilizada por un ventilador. La diferencia de temperatura esperada es de 27°F (15°C). Estos enfriadores presentan la ventaja sobre los de circulación de agua en su facilidad de realizar las labores de mantenimiento y la facilidad de reemplazos de sus elementos tubulares.

13. Secadores de aire. En las líneas de distribución existe la presencia de condensado aun después de los enfriadores de aire, lo que hace necesaria la utilización de secadores de aire cuando los requerimientos de aire seco y limpio así lo indiquen. La utilización de secadores simplifican las líneas de distribución que disminuyen la necesidad de la utilización de separadores.

### III. DISEÑO DE LINEAS DE AIRE COMPRIMIDO

#### A. Determinación del flujo máximo

Los siguientes puntos deberán considerarse para la determinación del flujo máximo y con esto no sub o sobre estimar la capacidad del compresor:

- 1.- Listado de Equipo y Herramientas neumáticas que va a utilizarse en cada una de las secciones de la planta.
- 2.- Determinación de los factores de utilización de cada uno de los equipos y herramientas.
- 3.- Datos de pérdidas por fricción en las tuberías, aceptable de un 5 al 10% del flujo.  
(Tablas)
- 4.- Tomar en consideración posibles ampliaciones futuras.

Generalmente el consumo y el factor de utilización de la herramienta y equipo es proporcionado por el fabricante del mismo.

#### B. Determinación de la presión máxima

Es necesario saber cual herramienta trabaja al mayor intervalo de presión y cual es éste. Dicho intervalo de presión será el de presión máxima del sistema. El sistema de

control del compresor estará ajustado para no permitir presiones menores a las establecidas.

#### C. Selección del compresor

Ya determinados los requerimientos de presión y flujo, se debe tomar una decisión fundamentalmente de tipo económico, referente al costo de operación, ya que la vida útil de trabajo del mismo es generalmente larga, por lo que un costo inicial elevado será mínimo si se considera el costo global de su operación.

#### D. Cálculo del depósito de aire

La determinación del tamaño del depósito depende del volumen de aire requerido por operación y de la caída de presión permitida dentro del intervalo de operación del equipo. La capacidad del depósito, en pies cúbicos, se determina al multiplicar la demanda de operación (pies cúbicos) por un factor adimensional de demanda que es 14.7 y al dividir este producto por la pérdida de presión en el depósito (libras sobre pulgadas cuadradas):

$$\text{Capacidad del depósito (pies}^3\text{)} = \frac{\text{Demanda por operación (pies}^3\text{)} \times 14.7}{\text{Pérdida de presión en el depósito (lbs/pulg}^2\text{)}}$$

En el caso de que ya se cuente con un compresor con depósito y este no es de capacidad suficiente o está muy alejado de la herramienta que requiere del aire, se puede instalar un depósito auxiliar de aire que complemente al actual. El cálculo de este nuevo depósito se hace de la misma manera anteriormente mencionada. Antes de instalar un depósito auxiliar, es importante verificar que el compresor sea lo suficientemente grande para abastecer el depósito sin interrumpir el abastecimiento a los otros equipos.

### E. Cálculo de líneas

Para el cálculo de la línea deben seguirse los siguientes pasos:

- a. Establecer la longitud de la tubería recta que incluye una longitud para posibles ampliaciones;
- b. Establecer el número y tipo de accesorios al calcular su longitud equivalente en tubería;
- c. Establecer el total de la longitud de la tubería recta más la longitud equivalente de los accesorios, y tomarla como la longitud total para efectos de cálculos.

En la siguiente tabla se dan los valores en longitud equivalente de tubería para algunos accesorios.

PERDIDAS DE PRESION DE AIRE EN ACCESORIOS DE TUBERIA  
(Tabulado como longitud equivalente de tubo recto en pies)

Tipo de Accesorio	Tamaño nominal de la tubería (pul.)									
	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5
Codo Recto	0.85	1.2	1.6	2.2	2.5	3.5	4.5	6.0	8.4	10.5
Codo con curvatura (larga)	0.5	0.6	0.8	1.1	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
Codo en U	1.5	2.0	2.5	3.5	4.0	5.5	6.5	8.5	12.0	16.0
Válvula de globo	2.5	3.5	4.5	6.5	8.0	11.0	13.0	17.0	24.0	31.0
Válvula de compuerta	0.35	0.45	0.6	0.9	1.0	1.3	1.6	2.1	3.0	4.0
Tees	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.7	2.2	2.8	4.0	5.0

Con estos datos se utiliza la siguiente formula:

$$\text{Pérdidas de Presión (lbs/pulg}^2\text{)} = \frac{L \times V^2}{R \times d^{5.3} \times 35122} \quad \text{(I)}$$

Donde: L = Longitud total equivalente de tubería (pies).

V = Volumen de aire libre (pies<sup>3</sup>/min).

R = Relación de compresión en la entrada de la tubería (relación de presiones absolutas).

35122 = Factor de conversión.

Fórmulas derivadas:

$$L = \frac{\text{Pérdida de presión} \times R \times d^{5.3} \times 35122}{V^2} \quad \text{(II)}$$

$$V^2 = \frac{\text{Pérdida de presión} \times R \times d^{5.3} \times 35122}{L} \quad \text{(III)}$$

$$d^{5.3} = \frac{L \times V^2}{\text{Pérdida de presión} \times R \times d^{5.3} \times 35122} \quad (\text{IV})$$

A continuación se presentan tablas tabuladas en base a estas fórmulas.

PERDIDA DE PRESION DE AIRE DEBIDO A LA FRICCION (Lb/Pulg.<sup>2</sup>) / 1000 pies de tubería)

Presión Inicial: 40Lb/Pulg.<sup>2</sup> manométrica

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	Equivalente Pies <sup>3</sup> de aire comprimido	Diámetro nominal de tubería												
		½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	6	8	
10	2.69	13.6	2.1	0.6										
20	5.38	54.4	8.2	2.3	0.54									
30	8.07	123	18.9	5.3	1.2	0.54								
40	10.76		33.7	9.4	2.2	0.97								
50	13.45		52.7	14.6	3.4	1.5	0.4							
60	16.14		76	21	4.9	2.15	0.59							
70	18.83		103	28.7	6.7	2.9	0.78							
80	21.52			37.5	8.7	3.85	1.02	0.4						
90	24.2			47.5	11	4.86	1.29	0.51						
100	26.9			58.5	13.6	6	1.61	0.62						
125	33.6			91.5	21.4	9.2	2.4	0.95						
150	40.4			132	30.6	13.5	3.6	1.4	0.43					
175	47.1				42.2	18.3	4.9	1.9	0.58					
200	53.8				54.4	24	6.4	2.5	0.78					
250	67.3				85.7	37.5	10	3.8	1.23					
300	80.7				122	54	14.4	5.6	1.77					
350	94.2					73.6	18.9	7.65	2.45					
400	107.6					96	24.4	10	3.15	0.73				
450	121						31	12.6	3.95	0.96				
500	134.5						40.4	15.6	4.9	1.16				
600	161.4						58	22.5	7.1	1.67				
700	188.3						79	30.6	9.65	2.28	0.7			
800	215.2						103	40	12.5	3	0.89			
900	242							50.6	15.9	3.76	1.13			
1000	269							62.4	19.6	4.65	1.4	0.51		

PERDIDA DE PRESION DE AIRE DEBIDO A LA FRICCION (Lb/Pulg.<sup>2</sup>) / 1000 pies de tubería)

Presión Inicial: 60Lb/Pulg.<sup>2</sup> manométrica

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	Equivalente Pies <sup>3</sup> de aire comprimido	Diámetro nominal de tubería												
		½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8	
10	1.96	10	1.5	0.4	0.1	0.2								
20	3.94	39	6	1.7	0.4	0.4								
30	5.89	90	13.9	3.9	0.9	0.4								
40	7.86		25	6.8	1.6	0.7								
50	9.84		38.6	10.7	2.5	1.1								
60	11.81		55	15	3.6	1.6								
70	13.75		76	21	4.9	2.2		0.22						
80	15.72		99	27	6.4	2.8		0.3						
90	17.65			35	8	3.6		0.33						
100	19.6			43	10	4.5		0.46						
125	24.6			67	15.7	6.9		0.7		0.14				
150	29.45			96	22.5	9.9		1		0.32				
175	34.44				31	13.4		1.4		0.43				
200	39.4				40	17.6		1.8		0.57				
250	49.2				63	27.5		2.8		0.9			0.2	
300	58.9				89	39.6		4.1		1.3			0.3	
350	68.8					54		5.6		1.8			0.4	
400	78.6					70.4		7.3		2.3			0.53	
450	88.4					89		9.2		2.9			0.7	
500	98.4							11.5		3.6			0.85	
600	118.1							16.5		6.2			1.2	0.37
700	137.5							22.3		7			1.7	0.5
800	157.2							29.2		9.2			2.2	0.65
900	176.5							37		11.5			2.75	0.83
1000	196							46		14.3			3.4	1

PERDIDA DE PRESION DE AIRE DEBIDO A LA FRICCION (Lb/Pulg.<sup>2</sup>) / 1000 pies de tubería)

Presión Inicial: 80Lb/Pulg.<sup>2</sup> manométrica

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	Equivalente Pies <sup>3</sup> de aire comprimido	Diámetro nominal de tubería												
		½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	6	8	
10	1.55	7.9	1.2	0.34										
20	3.1	31.4	4.7	1.35										
30	4.65	71	10.9	3	0.3									
40	6.2		19.5	5.4	1.25	0.56								
50	7.74		30.5	8.5	2	0.9								
60	9.29		44	12.2	2.8	1.25	0.35							
70	10.82		60	16.6	3.8	1.7	0.45							
80	12.4		78	21.6	5	2.2	0.6							
90	13.95			27.5	6.4	2.8	0.75							
100	15.5			34	7.9	3.5	0.93	0.36						
125	19.4			46	12.5	5.5	1.5	0.56						
150	23.2			76	17.7	7.8	2.1	0.8						
175	27.2				25	10.6	2.9	1.1						
200	31				31	14	3.7	1.4	0.45					
250	38.7				49	21.7	5.8	2.25	0.7					
300	46.5				71	31	8.3	3.25	1					
350	54.2				96	42.5	11.4	4.4	1.4	0.33				
400	62					55.5	14.7	5.8	1.8	0.42				
450	69.7					70	18.7	7.25	2.3	0.55				
500	77.4					87	23.3	9	2.8	0.67				
600	92.9						33.4	13	4	0.96				
700	108.2						45.7	17.6	5.5	1.3	0.4			
800	124						59	23	7.2	1.7	0.5			
900	139.5						76	29	9.2	2.2	0.65			
1000	155						93	36	11.3	2.7	0.8	0.3		

**PERDIDA DE PRESION DE AIRE DEBIDO A LA FRICCION (Lb/Pulg.<sup>2</sup>) / 1000 pies de tubería)**  
 Presión Inicial: 100Lb/Pulg.<sup>2</sup> manométrica

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	Equivalente Pies <sup>3</sup> de aire comprimido	Diámetro nominal de tubería																	
		½	¾	1	1¼	1½	2	2½	3	4	5	6	8						
10	1.28	6.5	1.0	0.28															
20	2.56	25.9	3.9	1.1	0.25	0.1													
30	3.84	58.5	9	2.5	0.57	0.26													
40	5.12		16	4.5	1	0.46													
50	6.41		25	7	1.6	0.7					0.19								
60	7.68		36.2	10	2.3	1					0.28								
70	8.96		49.3	13.7	3.2	1.4					0.37								
80	10.24		64.5	17.8	4.1	1.8					0.49	0.2							
90	11.52		83	22.6	5.2	2.3					0.6	0.25							
100	12.81			28	6.5	2.8					0.8	0.3							
125	15.82			48.6	10.2	4.5					1.2	0.5							
150	19.23			63	14.6	6.4					1.7	0.6	0.2						
175	22.4				19.8	8.7					2.4	0.9	0.28						
200	25.62				26	11.4					3	1.2	0.37						
250	31.64				40.5	18					4.8	1.8	0.58						
300	38.44				58	26					6.8	2.7	0.85	0.2					
350	44.8					35					9.4	3.6	1.2	0.27					
400	51.24					46					12	4.7	1.5	0.35					
450	57.65					58					15.4	6	2	0.46					
500	63.28					71.6					19.2	7.4	2.3	0.55	0.17				
600	76.88										27.6	10.7	3.4	0.8	0.24				
700	89.6										37.7	14.5	4.5	1	0.33				
800	102.5										49	19	5.9	1.4	0.42				
900	115.3										62	24	7.6	1.8	0.54				0.2
1000	126.6										77	29.8	9.3	2.2	0.66				0.25



La tabla que se presenta a continuación, puede también utilizarse para el cálculo del tamaño de la tubería, en la cual se tabulan los factores para capacidad y diámetros establecidos. Para la aplicación de esta tabla, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de Presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{longitud equivalente}}{R} = (\text{lbs/pulg}^2) \quad (\text{V})$$

Factores para calcular las pérdidas de presión debidas a  
La fricción en tuberías para cualquier presión inicial

Pies <sup>3</sup> de aire libre por minuto	Diámetro nominal (pulg)										
	½	¾	1	1 ¼	1 ½	2	2 ½	3	4	5	13
5	0.0127	0.0012	0.0005	-	-	-	-	-	-	-	-
10	0.0507	0.0078	0.0023	0.0005	-	-	-	-	-	-	-
15	0.114	0.0176	0.0049	0.0011	-	-	-	-	-	-	-
20	0.202	0.0304	0.0087	0.002	0.0009	-	-	-	-	-	-
30	0.811	0.0704	0.0196	0.0045	0.002	-	-	-	-	-	-
40	-	0.1253	0.0348	0.0081	0.0036	-	-	-	-	-	-
50	-	0.196	0.0544	0.0126	0.0056	0.0015	-	-	-	-	-
60	-	0.282	0.0783	0.0182	0.008	0.0022	-	-	-	-	-
70	-	0.385	0.1066	0.0247	0.0109	0.0029	0.0011	-	-	-	-
80	-	0.503	0.1392	0.0323	0.0143	0.0038	0.0015	-	-	-	-
90	-	0.646	0.1762	0.0409	0.0181	0.0048	0.0019	-	-	-	-
100	-	0.785	0.2174	0.0505	0.0223	0.006	0.0023	-	-	-	-
150	-	-	0.49	0.1136	0.0503	0.0134	0.0052	0.0016	-	-	-
200	-	-	0.87	0.202	0.0894	0.0239	0.0093	0.0029	-	-	-
300	-	-	-	0.454	0.201	0.0537	0.0209	0.0066	-	-	-
400	-	-	-	-	-	0.0947	0.0371	0.0117	0.0027	-	-
500	-	-	-	-	-	0.150	0.058	0.0183	0.0043	-	-
600	-	-	-	-	-	0.215	0.0815	0.0263	0.0062	-	-
700	-	-	-	-	-	0.294	0.1137	0.0358	0.0085	0.0026	-
800	-	-	-	-	-	0.382	0.1484	0.0467	0.0111	0.0033	-
900	-	-	-	-	-	0.486	0.188	0.0591	0.014	0.0042	-
1000	-	-	-	-	-	0.6	0.232	0.073	0.0173	0.0052	-
1100	-	-	-	-	-	0.723	0.2806	0.0884	0.021	0.0063	-
1200	-	-	-	-	-	0.85	0.344	0.1052	0.025	0.0075	-
1300	-	-	-	-	-	-	0.932	0.1234	0.029	0.0088	-
1400	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0339	0.0102	-
1500	-	-	-	-	-	-	-	-	0.039	0.0118	-
1600	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0443	0.0134	-
1700	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0501	0.0151	-
1800	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0561	0.0169	-
1900	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0627	0.0189	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.0693	0.0209	-
3000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.1083	0.0326	-
4000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.156	0.047	-
5000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.277	0.0836	0.0002
6000	-	-	-	-	-	-	-	-	0.433	0.131	0.0004

## IV. SITUACION ACTUAL

### A. Descripción de la fábrica

La fábrica en estudio tiene como nombre Servicios y Asistencia Técnica Industrial, S.A. y está ubicada en la Colonia Los Alamos, San Miguel Petapa. Tiene un área total de 1,700 mts<sup>2</sup> de construcción, divididos en una galera de 900 mts<sup>2</sup> y otra de 700 mts<sup>2</sup> y 100 mts<sup>2</sup> de oficina. Las galeras a su vez están divididas en varias secciones: almacenamiento de materia prima, corte, fondeado, lijado, acabado, ensamblado, pulido, empaque y bodega de producto terminado.

Cada una de las secciones anteriores se encuentra ubicada en el lugar más apropiado según la línea de producción que se sigue. Primero se encuentra la sección de almacenamiento de materia prima en un lugar accesible para facilitar la descarga del material; luego está la sección de corte donde se corta y se da forma a las planchas de madera (madera MDF), luego se procede a la sección de fondeado donde se le aplica una capa de fondo a las piezas para evitar porosidades y que las piezas se rajen; posteriormente se continúa a la sección de lija. Ya lijadas las piezas pasan a la sección de acabado donde se les aplica un acabado poliuretado que es un tipo de pintura. Después del acabado, las piezas continúan a la sección de armado donde las distintas piezas son ensambladas para formar el mueble. Ya armado el mueble pasa a la sección de pulido de donde sale con un brillo muy atractivo a ser empacado en el área respectiva. Por último, los muebles ensamblados son llevados a la sección de bodega de producto terminado la cual está ubicada estratégicamente para facilitar la carga de los muebles al transporte que los llevará al distribuidor.

## B. Descripción del equipo actual

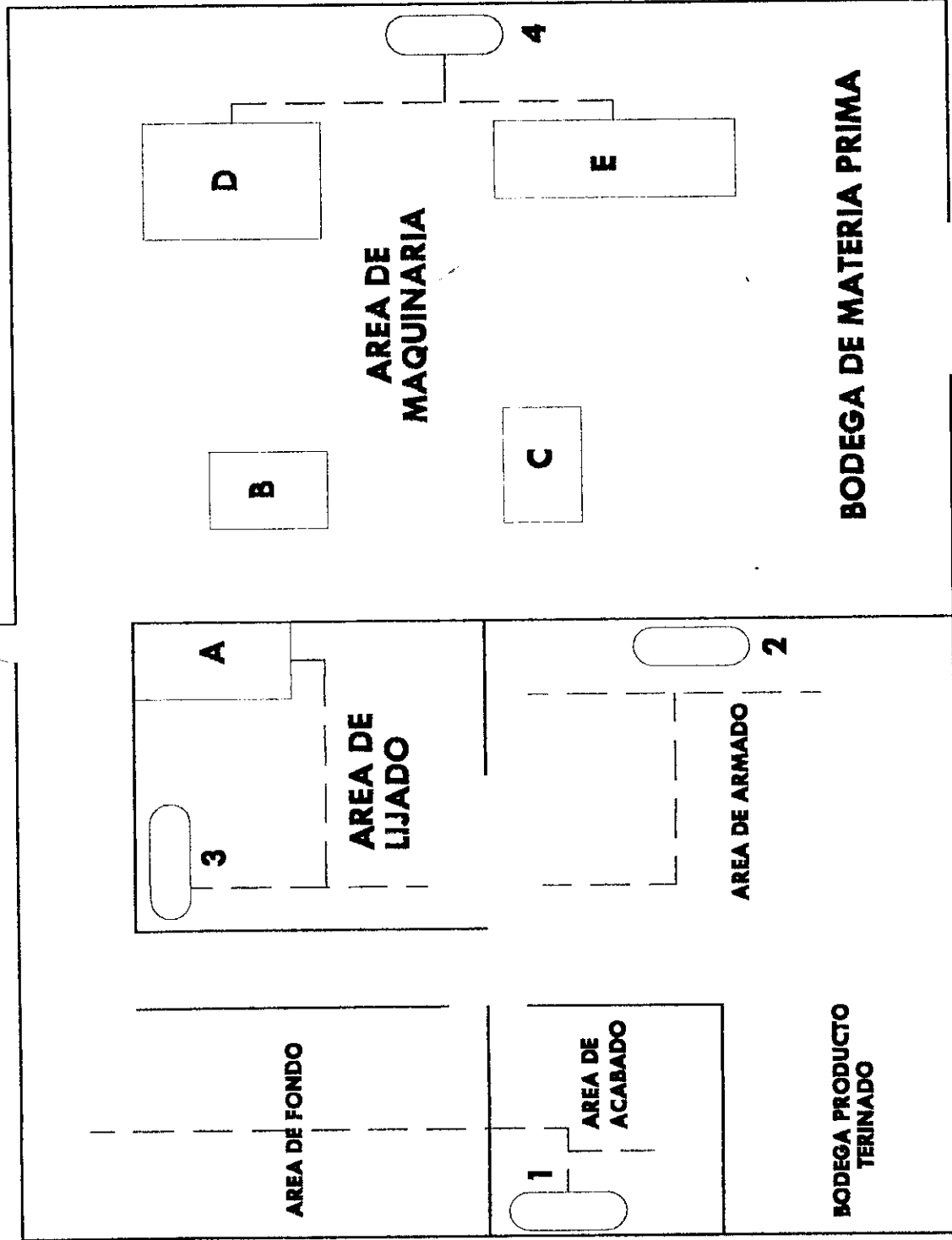
- Herramientas: Como se expuso anteriormente, la fábrica está seccionada en diferentes áreas donde se desempeñan diferentes labores. Lógicamente, como en cada sección se realiza una labor específica, cada sección tiene herramientas para dicha labor. Para los fines de este trabajo sólo se tomará en cuenta la herramienta que requiere de aire comprimido para su funcionamiento; a continuación se presenta un listado de dicha herramienta, indicando la sección en donde se encuentra, la cantidad existente, la presión a la que trabaja y los pies cúbicos por minuto (cfm) que consume.

SECCION	EQUIPO	CANTIDAD	PRESION DE TRABAJO (KPa)	cfm TOTALES
CORTE	Router	01	900	11
	Multiple	01	700	9
LIJADO	Lijadora rotoorbital	06	700	42
	Lijadora orbital	03	700	21
	Lijadora de banda	01	800	13
FONDEADO	Pistola soplete	03	700	18
ACABADO	Pistola p/pintar	03	700	18
ARMADO	Pistola clavillo	03	600	12
	Engrapadora	03	600	8

\*Presión máxima de trabajo: 900 KPa

\*Presión Mínima de trabajo: 600 KPa

\*Consumo total: 152 cfm



- 1-COMPRESOR
- 2-COMPRESOR
- 3-COMPRESOR
- 4-COMPRESOR
- A-LIJADORA DE BANDA
- B-ROUTER
- C-MULTIPLE
- D-ROVER
- E-ERGOHO 2

- Compresores y Tuberías: Con los datos anteriores se puede observar que se tiene un consumo total de 147cfm. En la actualidad para cubrir esta demanda de aire comprimido se cuenta con cuatro compresores. Uno para las herramientas en la sección de corte de 7.5 Hp con un tanque de 70 galones, otro para las herramientas en la secciones de lija de 10 Hp con un tanque de 90 galones, otro en la sección de armado de 5.5 Hp con un tanque de 60 galones y el último para las herramientas en las secciones de fondeado y acabado de 5.5 Hp con un tanque de 60 galones. Los cuatro son compresores alternativos de pistón de efecto simple y de una etapa.

Los compresores suministran el aire a través de mangueras de 1/2 pulg. de diámetro las cuales tienen extensiones inadecuadas del mismo diámetro para poder proveer de aire a varias herramientas. En la tubería principal de aire, hay un filtro, un regulador y un lubricador en cada compresor, cuando debería haber uno de cada uno por cada tubería auxiliar, así como tener una salida en forma de gancho la cual no existe actualmente, figura 2.

La ubicación de los compresores es inadecuada, ya que se encuentra dentro de las áreas de trabajo en las cuales el aire tiene un alto nivel de contaminantes como polvo y aserrín. Otro problema de la localización de los compresores es que el calor generado por éstos, no puede ser disipado en forma no regenerativa que provoca sobre calentamiento de los mismos. Vale la pena mencionar la total ausencia de mantenimiento a estos equipos.

Básicamente la situación actual se puede resumir en una instalación muy pobre y descuidada en la que no se toman en cuenta ni las consideraciones básicas.

## V. NUEVOS REQUERIMIENTOS

### A. Descripción de la maquinaria a adquirir

La maquinaria a adquirir es de última generación con lo mejor de la tecnología italiana en este campo. Las máquinas son catalogadas como: EB 90, ROVER 13S, ERGHO 2. Estas máquinas son de control numérico.

La máquina EB 90 tiene como función cortar a dimensión especificada las planchas de madera MDF, y bien a sustituir una sierra eléctrica que es la que actualmente efectúa esta labor. Los requerimientos de esta máquina son:

Presión de Trabajo: 90 lbs/pulg<sup>2</sup>  
Consumo de Aire Comprimido: 5 cfm

Una de las funciones de la máquina ROVER 13S es hacer el corte de las molduras decorativas en las piezas ya dimensionadas; y la segunda función es efectuar taladrado e insertado en las piezas. Actualmente el equipo que realiza estas actividades es el Router y el Multiple, los cuales seguirán habilitados. Los requerimientos de esta máquina son:

Presión de Trabajo: 95 lbs/pulg<sup>2</sup>  
Consumo de Aire Comprimido: 3 cfm

Por último la máquina ERGHO 2 tiene como función colocar los cantos a las piezas dimensionadas, corta el sobrante y lija los bordes para tener el acabado deseado (curvo, rectangular, etc.). Actualmente este proceso se efectúa manualmente.

Presión de Trabajo: 90 lbs/pulg<sup>2</sup>  
Consumo de Aire Comprimido: 4 cfm

## F. CALCULOS Y RESULTADOS

### A. Tabla de datos

EQUIPO	CANTIDAD	RANGO DE PRESION (Lb/pulg <sup>2</sup> )	CONSUMO cfm
Router	1	85 - 95	11
Múltiple	1	85 - 95	9
Lijadora rotorbital	6	65 - 75	42
Lijadora orbital	3	65 - 75	21
Lijadora de banda	1	110 - 120	13
Pistola soplete	3	95 - 105	18
Pistola para pintar	3	95 - 105	18
Pistola para clavillo	4	85 - 95	12
Engrapadora	4	85 - 95	8
Rover 13S	1	90 - 100	3
EB 90	1	85 - 95	5
Ergo 2	1	85 - 95	4

- DATOS PROPORCIONADOS POR FABRICANTES

- \* Intervalo máximo de presión de trabajo: 110 - 120 psi
- \* Intervalo mínimo de presión de trabajo: 65 - 75 psi
- \* Consumo total: 164 cfm

Actualmente se tienen cuatro compresores:

1. Compresor marca FINI de 5.5 hp. con tanque de 60 gal.
2. Compresor marca FINI de 5.5 hp. con tanque de 60 gal.
3. Compresor marca GARDNER DENVER de 10 hp. con tanque de 90 gal.
4. Compresor marca UNO AIR de 7.5 hp. con tanque de 70 gal.

## B. Selección del sistema

Debido a que el aumento del consumo de aire por la maquinaria nueva no es grande y por las especificaciones de los fabricantes de los compresores, se concluye en que dichos compresores son suficientes para satisfacer la demanda.

Por los compresores con los que se cuenta actualmente, se utilizará un sistema descentralizado es decir, los compresores estarán distribuidos en las diferentes áreas de la planta con un circuito independiente por sección. Al utilizar este sistema se tiene la ventaja de tener presiones variables para cada área, es necesario un menor diámetro y longitud de la tubería, para reducir pérdidas. También se tiene la ventaja de no requerir montajes especiales y las fallas tendrían efectos locales.

Como los puntos de uso son pocos y el compresor se encuentra relativamente cerca de ellos, es conveniente utilizar un sistema de circuito abierto para el diseño de la líneas.

La nueva ubicación de cada compresor en la planta fue determinada mediante la demanda por área. Además se buscó colocar los compresores en lugares en donde la contaminación por el polvo y aserrín fuera mínima, así como que estén en un lugar donde el calor producido por ellos pueda ser disipado para evitar recalentamientos.

En las siguientes tablas se listan las nuevas distribuciones del equipo por compresor, basadas en la ubicación del equipo y el consumo de aire del mismo:

COMPRESOR 1	EQUIPO	CANTIDAD	PRESION	CFM
5.5 hp.	Pistola soplete	3	95 - 105	18
	Pistola pintura	3	95 - 105	18
				<b>36</b>

COMPRESOR 2	EQUIPO	CANTIDAD	PRESION	CFM
5.5 hp.	Pistolas clavo	4	85 - 95	12
	Engrapadora	4	85 - 95	8
	Rover 13S	1	90 - 100	3
	EB 90	1	85 - 95	5
				<b>28</b>

COMPRESOR 3	EQUIPO	CANTIDAD	PRESION	CFM
10 hp.	Lijadora de banda	1	110 - 120	13
	Rotorbital	6	65 - 75	42
				55

COMPRESOR 4	EQUIPO	CANTIDAD	PRESION	CFM
7.5 hp.	Orbitales	3	65 - 75	21
	Router	1	85 - 95	11
	Múltiple	1	85 - 95	9
	Ergo 2	1	85 - 95	4
				45

### C. Flujo máximo necesario

Para obtener el flujo máximo necesario en el sistema, se necesita el consumo total de aire más el porcentaje de pérdidas admisible, más un porcentaje por ampliaciones. Para este caso se utilizará un porcentaje de pérdida admisible del 5% y un 20% para futuras ampliaciones

$$\text{FLUJO MAXIMO} = \text{cfm total} + 5\% \text{ de pérdidas} + 20\% \text{ ampliaciones} \quad (\text{VI})$$

\* COMPRESOR 1:

$$\text{FLUJO MAXIMO} = 36 + 1.8 + 7.2 = 45 \text{ cfm.}$$

\* COMPRESOR 2:

$$\text{FLUJO MAXIMO} = 28 + 1.4 + 5.6 = 35 \text{ cfm.}$$

\* COMPRESOR 3:

$$\text{FLUJO MAXIMO} = 55 + 2.75 + 11 = 68.75 \text{ cfm.}$$

\* COMPRESOR 4:

$$\text{FLUJO MAXIMO} = 45 + 2.25 + 9 = 56.25 \text{ cfm.}$$

D. Presión máxima

De las tablas de la distribución del equipo por compresor se tiene el intervalo máximo de presión a la que debe trabajar el compresor.

- \* COMPRESOR 1: 95 - 105 PSI
- \* COMPRESOR 2: 90 - 100 PSI
- \* COMPRESOR 3: 110 - 120 PSI
- \* COMPRESOR 4: 85 - 95 PSI

E. Diámetro de la tubería

Es necesario conocer la longitud equivalente de los accesorios a utilizar en el sistema para determinar el diámetro de la tubería. Pero debido a que esta longitud equivalente depende del diámetro de la tubería, es necesario hacer el cálculo del tamaño de tubería por el método de prueba y error de la manera siguiente:

\* COMPRESOR 1:

Longitud equivalente de los accesorios para tubería de 1" de diámetro y 66 pies.

DESCRIPCION	CANTIDAD	LONGITUD TABULADA (pies)	LONGITUD EQUIVALENTE (pies)
Codos en U	6	2.5	15
Codo Recto	2	1.6	3.2
Válvulas			0
TOTAL			18.2

\* Al utilizar la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdidas de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud equivalente}}{R} \quad (V)$$

Factor: Para tubería de 1" y 45 cfm. = 0.0544

Longitud equivalente total = 65.62 + 18.2 = 83.82 pies.

R = Relación de presión con la menor presión del intervalo máximo de presión

$$R = \frac{95 + 14.7}{14.7} = 7.4626 \text{ psi}$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{0.0544 \times 83.82}{7.4626} = 0.611 \text{ PSI}$$

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{0.611 \times 100}{95} = 0.64 \%$$

\* El porcentaje de pérdidas de presión es 0.64% lo cual es mucho menor al porcentaje permisible, con lo que aseguramos que con una tubería de 1" nuestro sistema trabajará eficientemente.

\* COMPRESOR 2:

Longitud equivalente de los accesorios para tubería de 1" de diámetro y 80 pies.

DESCRIPCION	CANTIDAD	LONGITUD TABULADA (pies)	LONGITUD EQUIVALENTE (pies)
Codos en U	10	2.5	25
Codo Recto	2	1.6	3.2
Tees	1	0.8	0.8
TOTAL			29

\* Si se utiliza la fórmula siguiente

$$\text{Pérdidas de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud equivalente}}{R} \quad (V)$$

Factor: Para tubería de 1" y 35 cfm. = 0.0348

Longitud equivalente total = 82.02 + 29 = 111.02 pies

R = Relación de presión con la menor presión del intervalo máximo de presión

$$R = \frac{85 + 14.7}{14.7} = 6.7823 \text{ psi}$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{0.0348 \times 111.02}{6.7823} = 0.5696 \text{ PSI}$$

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{0.5696 \times 100}{85} = 0.97 \%$$

\* El porcentaje de pérdidas de presión es 0.97% lo cual es mucho menor al porcentaje permisible, con lo que aseguramos que con una tubería de 1" nuestro sistema trabajará eficientemente.

\* COMPRESOR 3:

Longitud equivalente de los accesorios para tubería de 1" de diámetro y 89 pies

DESCRIPCION	CANTIDAD	LONGITUD TABULADA (pies)	LONGITUD EQUIVALENTE (pies)
Codos en U	6	2.5	15
Codo Recto	3	1.6	4.8
Tees	1	0.8	0.8
TOTAL			20.6

\* Al utilizar la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdidas de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud equivalente}}{R} \quad (V)$$

$$\text{Factor: Para tubería de 1" y } 68.75 \text{ cfm.} = 0.1066$$

$$\text{Longitud equivalente total} = 91.86 + 20.6 = 112.46 \text{ pies}$$

R = Relación de presión con la menor presión del intervalo máximo de presión

$$R = \frac{110 + 14.7}{14.7} = 8.4829 \text{ psi}$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{0.1066 \times 112.46}{8.4829} = 1.4132 \text{ PSI}$$

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{1.4132 \times 100}{110} = 1.28 \%$$

\* El porcentaje de pérdidas de presión es de 1.28% lo cual es menor al porcentaje permisible, con lo que aseguramos que con una tubería de 1" nuestro sistema trabajará eficientemente.

\* COMPRESOR 4:

Longitud equivalente de los accesorios para tubería de 1" de diámetro y 63 pies

DESCRIPCION	CANTIDAD	LONGITUD TABULADA (pies)	LONGITUD EQUIVALENTE (pies)
Codos en U	7	2.5	17.5
Codo Recto	2	1.6	3.2
Tees	1	0.8	0.8
TOTAL			21.5

\* Si se utiliza la fórmula siguiente:

$$\text{Pérdidas de presión} = \frac{\text{Factor} \times \text{Longitud equivalente}}{R} \quad (V)$$

Factor: Para tubería de 1" y 56.25 cfm. = 0.0196

Longitud equivalente total = 65.62 + 21.5 = 87.12 pies

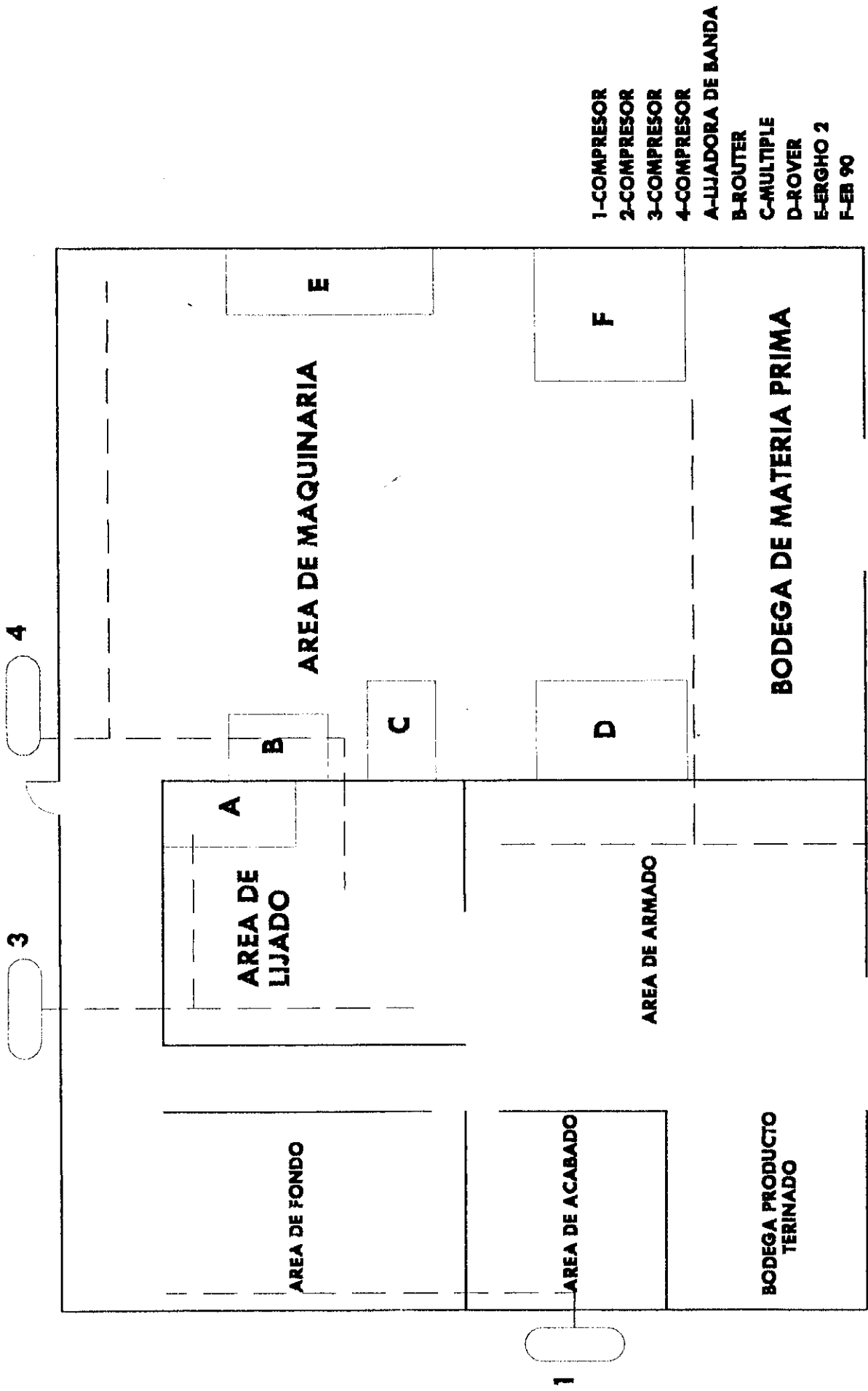
R = Relación de presión con la menor presión del intervalo máximo de presión

$$R = \frac{90 + 14.7}{14.7} = 7.1224 \text{ psi}$$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{0.0783 \times 87.12}{7.1224} = 0.9578 \text{ PSI}$$

$$\% \text{ de pérdida} = \frac{0.9578 \times 100}{90} = 1.06 \%$$

\* El porcentaje de pérdidas de presión es de 1.06 % lo cual es menor al porcentaje permisible, con lo que aseguramos que con una tubería de 1" nuestro sistema trabajará eficientemente.



- 1-COMPRESOR
- 2-COMPRESOR
- 3-COMPRESOR
- 4-COMPRESOR
- A-LIJADORA DE BANDA
- B-ROUTER
- C-MULTIPLE
- D-ROVER
- E-ERGOHO 2
- F-EB 90

## F. Gastos de operación

### 1. Consumo eléctrico.

En la selección de compresores el consumo eléctrico es un aspecto muy importante. Debido a que en este caso ya se cuenta con los compresores, se realizará el análisis económico del consumo eléctrico para tener uno de los gastos de operación del sistema.

Según información proporcionada por el distribuidor de los compresores, el motor de los mismos debe arrancar cuatro veces en una hora, es decir cada doce minutos y permanecer en función durante un lapso de tres minutos. Esto quiere decir que por compresor:

$$\begin{aligned} 3 \text{ min} \times 4 \text{ veces} &= 12 \text{ minutos} = 0.2 \text{ hrs.} \\ 0.2 \text{ hrs} \times 8 \text{ hrs al día} &= 1.6 \text{ hrs al día} \\ 300 \text{ días al año} \times 1.6 \text{ hrs al día} &= 480 \text{ hrs al año} \end{aligned}$$

El motor tiene un tiempo de funcionamiento de 480 hrs al año. Como los compresores son de diferente caballaje, para cada uno se tiene el consumo siguiente:

#### \* COMPRESOR 1:

$$\text{Motor de 5.5 HP} = 4.1013 \text{ Kw.}$$

$$\text{Flujo requerido} = 45 \text{ cfm} = 2,700 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

$$\text{Potencia específica} = \frac{4.1013}{2,700} = 0.0015 \text{ Kw/pies}^3 \text{ * hora}$$

$$\text{Producción de aire por año} = 2,700 * 480 = 1,296,000 \text{ pies}^3 \text{ al año}$$

$$\text{Consumo anual de Kw} = 0.0015 * 1,296,000 = 1,944 \text{ Kw al año}$$

El precio de 1 Kw en el área donde está ubicada la fábrica es de Q.1.30

$$\text{Gasto eléctrico} = 1,944 * 1.30 = \text{Q. 2,527.20}$$

**Es decir que se tiene un gasto de Q. 2,527.20 anuales por la operación de este compresor 8 hrs. al día, 300 días al año.**

**\* COMPRESOR 2:**

$$\text{Motor de 5.5 HP} = 4.1013 \text{ Kw.}$$

$$\text{Flujo requerido} = 35 \text{ cfm} = 2,100 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

$$\text{Potencia específica} = \frac{4.1013}{2,100} 0.0019 \text{ Kw/pies}^3 * \text{ hora}$$

$$\text{Producción de aire por año} = 2,100 * 480 = 1,008,000 \text{ pies}^3 \text{ al año}$$

$$\text{Consumo anual de Kw} = 0.0019 * 1,008,000 = 1,915.20 \text{ Kw al año}$$

$$\text{El precio de 1 Kw en el área donde está ubicada la fábrica es de Q.1.30}$$

$$\text{Gasto eléctrico} = 1,915.20 * 1.30 = \text{Q. 2,489.76}$$

**Es decir que se tiene un gasto de Q. 2,489.76 anuales por la operación de este compresor 8 hrs. al día, 300 días al año.**

**\* COMPRESOR 3:**

$$\text{Motor de 10 HP} = 7.4569 \text{ Kw.}$$

$$\text{Flujo requerido} = 68.75 \text{ cfm} = 4,125 \text{ pies}^3/\text{hr}$$

$$\text{Potencia específica} = \frac{7.4569}{4,125} 0.0018 \text{ Kw/pies}^3 * \text{ hora}$$

$$\text{Producción de aire por año} = 4,125 * 480 = 1,980,000 \text{ pies}^3 \text{ al año}$$

$$\text{Consumo anual de Kw} = 0.0019 * 1,980,000 = 3,564 \text{ Kw al año}$$

$$\text{El precio de 1 Kw en el área donde está ubicada la fábrica es de Q.1.30}$$

$$\text{Gasto eléctrico} = 3,564 * 1.30 = \text{Q. 4,633.20}$$

**Es decir que se tiene un gasto de Q. 4,633.20 anuales por la operación de este compresor 8 hrs. al día, 300 días al año.**

**\* COMPRESOR 4:**

Motor de 7.5 HP = 5.5927 Kw.

Flujo requerido = 56.25 cfm = 3,375 pies<sup>3</sup>/hr

Potencia específica =  $\frac{5.5927}{3,375}$  0.0017 Kw/pies<sup>3</sup> \* hora

Producción de aire por año = 3,375 \* 480 = 1,620,000 pies<sup>3</sup> al año

Consumo anual de Kw = 0.0017 \* 1,620,000 = 2,754 Kw al año

El precio de 1 Kw en el área donde está ubicada la fábrica es de Q.1.30

Gasto eléctrico = 2,754 \* 1.30 = Q. 3,575.00

**Es decir que se tiene un gasto de Q. 3,575.00 anuales por la operación de este compresor 8 hrs. al día, 300 días al año.**

## 2. Consumibles

Entre los gastos de operación están aquellos productos consumibles, como los filtros y el aceite.

Los fabricantes de los compresores recomiendan limpiar los filtros semanalmente y cambiarlos cada 120 hrs. de trabajo.

\* El motor de los compresores trabaja 1.6 hrs. al día y 25 días al mes

\* Cambio de filtros cada 120 hrs. de trabajo

\* 120 hrs / 1.6 hrs. al día = 75 días

\* 75 días / 25 días al mes = 3 meses

**Es decir, que el cambio de filtros debe hacerse cada tres meses de operación al tiempo de trabajo estipulado. El compresor de 10 hp. utiliza 2 filtros y los otros tres usan solo uno. Actualmente cada filtro tiene un valor de Q. 45.00, entonces:**

- \* Son 5 filtros cada tres meses
- \* 5 filtros X Q. 45.00 = Q. 225.00 cada 3 meses
- \* Q. 225.00 cada 3 meses X 4 veces al año = Q. 900.00

**Es decir, que al año se tiene un gasto de Q. 900.00 en filtros.**

El aceite que se usa es AEON 500 (aceite sintético) y tiene un costo de Q. 130.00 el galón. Fue recomendado cambiarlo cada 60 hrs. de trabajo. El compresor de 10 hp. utiliza 1 galón de aceite y los otros tres medio galón.

- \* El motor de los compresores trabaja 1.6 hrs al día y 25 días al mes
- \* Cambio de aceite cada 60 hrs. de trabajo
- \* 60 hrs / 1.6 hrs. al día = 37.5 días
- \* 37.5 días / 25 días al mes = 1.5 meses
- \* Son 2.5 galones cada mes y medio
- \* 2.5 galones X Q. 130.00 = Q. 325.00 cada 1.5 meses
- \* Q. 325.00 cada 1.5 meses X 8 veces al año = Q. 2,600.00

**Es decir, que cada mes y medio debe cambiarse el aceite. Y se tiene un gasto de Q. 2,600.00 anuales en aceite.**

## VII. RECOMENDACIONES

### A. Consideraciones sobre el montaje

La cimentación adecuada del compresor es de suma importancia para que este realice un trabajo satisfactorio. El tamaño del bloque de cimiento debe ser por lo menos 12 pulgadas más grande a lo largo y a lo ancho que la base del soporte del compresor; la profundidad depende del tipo de suelo, por lo que se hace necesario un estudio respectivo para determinar la profundidad adecuada del cimiento. Si no se tiene la posibilidad de realizar dicho estudio se puede tomar la base de hacer un cimiento que sea aproximadamente cinco veces más pesado que el compresor. Es muy importante dejar una superficie fina en el cimiento que permite un apoyo total de la base del compresor con la superficie, lo cual da un buen alineamiento del mismo y ayuda a la disminución de las vibraciones.

-Instalación de líneas de aire comprimido: Es recomendable montar las líneas de aire comprimido con una caída de aproximadamente 1 en 40 pies, elevándola a su altura original que utiliza 2 codos de curvatura larga e instala válvulas de drenado en su punto mas bajo. La distancia entre elevaciones puede variar, depende de las características físicas del edificio, aunque no debe exceder de 80 pies.

Al realizarse la derivación hacia los puntos de uso, debe tenerse presente hacer la derivación de la parte superior de la línea, para evitar la presencia de condensado en la misma. Las derivaciones para drenado se toman de la parte inferior de la línea para lograr que el condensado sea drenado eficientemente.

La tubería debe soportarse a intervalos adecuados para asegurar que la caída se mantenga correcta y evitar deflexiones que acumularían condensados, así como reducir el

efecto de los puntos de drenado. En la tabla siguiente se muestran las distancias máximas entre soportes para diferentes diámetros de tubería.

#### INTERVALOS ENTRE SOPORTES DE TUBERIA

Tamaño de tubería		Máximo intervalo para líneas verticales		Máximo intervalo para líneas horizontales	
Mm	pulg	m	ft	m	Ft
6.35	0.25	1.25	4	1.00	3
9.52	0.375	1.25	4	1.00	3
12.70	0.50	1.75	6	1.25	4
19.05	0.75	2.70	8	1.75	6
25.40	1.00	2.50	8	1.75	6
31.75	1.25	3.00	10	2.50	8
33.10	1.50	3.00	10	2.50	8
50.80	2.00	3.00	10	2.75	9
76.20	3.00	3.50	12	3.00	10
101.60	4.00	3.50	12	3.00	10
152.40	6.00	4.25	14	3.50	12
203.20	8.00	4.50	15	3.50	12
254.00	10.00	5.18	17	4.25	14
304.00	12.00	5.48	18	4.87	16

Instalación de drenajes: Para evitar que el condensado llegue a las herramientas o equipos, deben colocarse puntos de drenado en los puntos más bajos de la línea

La distancia entre dos puntos de drenado no debe exceder de un máximo de 100 pies de longitud, aunque hay consideraciones específicas que dependen de las condiciones físicas de las instalaciones y de las condiciones del aire de suministro.

-Instalación de reguladores de presión: Los reguladores de presión se montan en los ramales de distribución a los puntos de uso o cerca del punto de uso, lo que evita pérdidas que puedan disminuir el rendimiento del equipo. Por características de diseño, los reguladores de presión funcionan sólo en una dirección del flujo y por esto se debe prestar mucha atención para instalarlos adecuadamente. Todo regulador de presión trae indicada en su carcasa la dirección que el flujo de aire debe seguir.

-Instalación de válvulas de seguridad: Las válvulas de seguridad se instalan sobre los depósitos de aire y/o entre las etapas de los compresores de etapas múltiples. Para evitar sobrepresiones en el sistema las válvulas de seguridad deben estar debidamente calibradas a la presión de descarga requerida.

## B. Mantenimiento.

- Mantenimiento de tuberías: Entre los problemas más frecuentes encontrados en las tuberías se tienen la presencia de fugas de aire y las obstrucciones por presencia de partículas o líquidos en la misma. Entonces el mantenimiento de tuberías se puede dividir en la detección de fugas y en la limpieza de tuberías y accesorios.

- Detección de fugas: Las fugas de aire representan pérdidas de energía que inciden en un bajo rendimiento del sistema. La presencia de fugas es inevitable, pero debe tratarse de mantenerlas dentro de un límite aceptable. Este límite es de un 5% de la capacidad del compresor.

Para determinar el porcentaje de fugas se pueden seguir los siguientes pasos:

- a. Determinar el volumen de las tuberías principales, ramales, válvulas, depósitos y el volumen de pérdidas por fricción en la tubería.
- b. Se hace funcionar el compresor hasta una presión poco mayor a la presión normal de trabajo del sistema.
- c. Se cierran las válvulas de paso del depósito y de todas las del equipo, para asegurar que el sistema se encuentre completamente aislado.
- d. Observar el tiempo que se necesita para que el sistema se fugue hasta alcanzar una presión mas baja que la presión normal de trabajo.

Con estos datos podemos calcular las fugas como sigue

$$\text{Fugas} = \frac{V(P1 - P2)}{14.7 * t} = \text{cfm/min}$$

Donde:

V = volumen del paso a en pies<sup>3</sup>

P1 = presión del paso b en lb/pulg.<sup>2</sup>

P2 = presión del paso d en lb/pulg.<sup>2</sup>

t = tiempo paso d en minutos

14.7 = presión atmosférica en lb/pulg.<sup>2</sup>

Si el resultado de la operación anterior es elevado, deben revisarse todas las uniones y las tuberías en las cuales pueden existir pequeñas ranuras. Es recomendable hacer este cálculo por lo menos una vez al mes para tener un control continuo de las fugas y asegurar un buen rendimiento.

- Limpieza de la tubería y accesorios: Es recomendable realizar una limpieza interior a las tuberías por lo menos una vez al año, para eliminar residuos sólidos adheridos a su superficie interior por la presencia de líquidos como agua o aceite emulsionados del compresor y partículas transportadas por el flujo de aire que en el peor de los casos producen la obstrucción de dicho flujo.

Esta limpieza se efectúa con un cepillo giratorio dentro de la tubería. Si el diámetro de la tubería es muy pequeño es conveniente cambiar la tubería por una nueva.

La inspección ocular de los accesorios como válvulas, lubricadores, reguladores, filtros, etc. debe realizarse mensualmente para ver los estados de cada uno de éstos. A estos accesorios, al igual que las tuberías, se les debe limpiar en un período de tiempo determinado, lo cual depende del uso.

-Detección de fallas del compresor: Debido al desgaste de sus partes mecánicas y a ciertas situaciones imprevistas, los compresores están sujetos a posibles fallas. En la siguiente tabla se muestran las causas más comunes de fallas en un compresor.

-Mantenimiento de drenaje: El drenado del sistema de aire comprimido se realiza por medio de sistemas automáticos o manuales. Para los sistemas automáticos se recomienda inspeccionar diariamente que el funcionamiento de los drenadores sea el adecuado. Si no lo es, debe desarmarse y revisarse y sustituir las partes dañadas. En los sistemas manuales es necesario un drenado diario para evitar que los condensados y el aceite lleguen hasta las herramientas o equipos y los dañen.

## TABLA DE LOCALIZACION DE FALLAS DE COMPRESOR

DEFECTO	COMPRUEBE LO SIGUIENTE
Bombeo de aceite .....	1-8-10-18-24-25
Golpeteos o traqueteos .....	2-3-19-20-21-22-23-25
El suministro de aire ha decaído .....	1-2-6-18-20-24
La válvula de seguridad salta .....	20
El motor consume exceso de corriente .....	17-18-20-22-25
Agua en el carter u óxido en los cilindros .....	13-14
La máquina no descarga .....	21
La válvula auxiliar traquetea; fugas en el vástago .....	21
Arrancadas y paradas excesivas .....	4-6-7-14
El compresor funciona excesivamente caliente .....	2-5-7-20
El compresor no alcanza la velocidad .....	15-16-18
Parpadeo de luces al funcionar el compresor .....	9-11-12-16
El compresor no descarga al detenerse .....	2-5-7-20

1. Depurador de aire de entrada obstruido.
2. Si es un compresor de cilindro único, compruebe el ajuste de la válvula de seguridad
3. Rueda de correa floja, polea de motor o motor con juego axial excesivo.
4. El receptor de aire debe drenarse.
5. No hay paso de aire a la rueda del ventilador.
6. Fugas de aire en la tubería (en la unidad o en el sistema exterior)
7. Fugas en la válvula de retención del receptor de aire, o la unidad no está provista de válvula de retención.
8. La viscosidad del aceite es demasiado baja.
9. La viscosidad del aceite es demasiado alta.
10. Nivel de aceite demasiado alto.
11. Nivel de aceite demasiado bajo.
12. Se usa aceite de tipo detergente. Cambie a un tipo sin detergente que tenga inhibidor de oxidación.
13. Servicio extremadamente ligero, o la unidad está situada en un sitio húmedo.
14. La unidad debe estar equipada con control de velocidad constante debido a la demanda de aire permanente.
15. Compruebe el voltaje de línea, y también que los terminales del motor tengan buen contacto y que las conexiones del arranque estén apretadas.
16. Regulación de potencia defectuosa (línea desequilibrada). Consulte con la compañía de electricidad.
17. Las correas en V están excesivamente tirantes.
18. Válvula piloto con fugas o mal ajustada.
19. Carbón en la parte superior del pistón.
20. Válvulas con fugas, rotas, carbonizadas o flojas.
21. Piezas del descargador de velocidad constante con fugas, rotas o gastadas. Válvula auxiliar sucia, asientos gastados.
22. Biela, pasador del pistón, o cojinetes de muñón de cigüeñal gastados o rayados.
23. Cojinetes de bolas defectuosos en cigüeñal o eje de mando. Ventilador de motor flojo.
24. Anillos de pistón rotos o no asentados; agarrados en las ranuras; rayaduras en el huelgo lateral.
25. Cilindros o pistones arañados, gastados o rayados.

Tomado de la Revista INGENIERIA DE FABRICAS, Volumen 5, Número 5. Marzo 1975.

-Lubricación del compresor: Se debe revisar diariamente que el nivel del depósito de aceite sea el adecuado. Un nivel abajo del adecuado producirá desgaste en las piezas mecánicas del compresor por el elevado coeficiente de fricción producido entre las mismas. Si el nivel es mayor, se producirán aumentos en la temperatura, pues el coeficiente de fricción es mayor dada la mayor cantidad de aceite; esto también produce acumulación de carbón en las válvulas y reduce el flujo libre de aire, lo que provoca en algunos casos el encendido o explosiones dentro del cilindro.

Para seleccionar el aceite apropiado para la lubricación del compresor debe consultarse como primera medida el manual del fabricante. Si esto no es posible, lo más recomendable es solicitar la asesoría de las compañías distribuidoras de aceites industriales.

-Medidas de seguridad: A continuación se presentan varios puntos para la prevención de accidentes al realizar mantenimiento, preventivo o correctivo, en sistemas de aire comprimido:

- a. Asegurarse que el compresor no pueda ponerse en funcionamiento mientras se realicen las labores de reparación o mantenimiento.
- b. Si el punto anterior no es posible, se debe aislar la sección a trabajar asegurándose que su válvula esté totalmente cerrada, antes de vaciar los conductores.
- c. Seguir las instrucciones sugeridas en el manual del fabricante.
- d. Debe contarse con piezas de repuesto para evitar paros largos.
- e. Cerciorarse que todos y cada uno de los elementos estén debidamente colocados antes de poner a funcionar el compresor o la sección reparada.

## VII. CONCLUSIONES

- H.1 El diseño de un sistema de aire comprimido para abastecer de energía ciertos procesos de producción, puede dar un rendimiento superior a otros sistemas de suministro de energía, si el mismo ha sido realizado adecuadamente.
- H.2 La utilización del aire comprimido como una forma de energía tiene la ventaja de que se puede acumular gran cantidad de energía en forma de presión al utilizar para ello una unidad motriz de tamaño relativamente pequeño, para luego utilizarla en un equipo o herramienta de mayor capacidad en forma de energía cinética.
- H.3 En nuestro medio, el diseño de sistemas de aire comprimido se confía a personas sin los criterios científicos y técnicos suficientes que realizan los cálculos en forma empírica y que influyen en el rendimiento del sistema. Además la importancia que le otorgan estas personas al mantenimiento de los sistemas es mínima, pues olvidan que todo sistema está expuesto a fallas que influyen no sólo en el rendimiento del sistema sino también en la vida útil del equipo.
- H.4 Para el diseño de las líneas de aire comprimido se hace necesaria la determinación del flujo máximo y la presión máxima del sistema.

- H.5 Los Sistemas Descentralizados se aplican con unidades distribuidas en diferentes secciones de una planta. Tienen la ventaja de rendimiento y presión diferentes para cada sección, el tamaño de la tubería puede ser menor y más corto, no se requiere de cimentación especial y las fallas tendrían efectos locales únicamente.
- H.6 Los Sistemas en Circuito Abierto son adecuados para aplicaciones en las que los puntos de uso son pocos y el compresor está relativamente cerca de ellos.
- H.7 Luego de tener las opciones de compresores que llenen los requisitos, la selección del compresor es una decisión fundamentalmente de tipo económica.

## VIII. BIBLIOGRAFIA

- DEVIS, P. C. Air Compressors, Control and Installation. The Hollen Street Press Limited, 1961.
- MORROW, L. C. Maintenance Engineering Handbook. Segunda Edición, McGraw-Hill, U. S. A. 1978.
- ROYO, Carnicer. Aire Comprimido, Teoría y Cálculo de las Instalaciones. Editorial G. Gill, S. A. Barcelona, España, 1977.
- Atlas Copco Manual, Técnica del Aire Comprimido. Segunda Edición. Editorial Musigraf Arabí, Madrid, España, 1976.
- Selection and Installation of Compressed Air Services (Code of Practice). British Compressed Air Society. BCAS.
- <http://air.ingersoll-rand.com/AST>

