



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

**REDISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE EQUIPO DE COCINA Y PANADERÍA REST-O-PAN S.A.**

Marco Vinicio Maldonado Conde
Asesorado por el ING. Edwin Estuardo Sarceño

Guatemala, agosto de 2008

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**REDISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE
PRODUCCIÓN DE EQUIPO DE COCINA Y PANADERÍA REST-O-PAN S.A.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARCO VINICIO MALDONADO CONDE

ASESORADO POR EL ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO

AL CONFERÍRSELE ÉL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, Agosto de 2008

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:

REDISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE EQUIPO DE COCINA Y PANADERÍA REST-O-PAN S.A.,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha octubre de 2007.

Marco Vinicio Maldonado Conde

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br.
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. José Ismael Veliz Padilla
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS	Por haberme brindado la oportunidad y sabiduría para alcanzar este título
MIS PADRES	José María Maldonado de León Agustina Conde Garrido Por haberme guiado por el buen camino y darme la oportunidad de alcanzar este título
MI HERMANOS	Edy Eduardo Maldonado Conde Juan Carlos Maldonado Conde Mi triunfo es su triunfo.
EN ESPECIAL	La familia Marcos Mijangos Por su apoyo incondicional, gracias.
MI FAMILIA	Por brindarme su ayuda.
MIS AMIGOS	En especial a Gabriela, Berner, Derik, Mario, Robin Héctor, etc. Por su apoyo

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN.....	XV
1. FASE DE INVESTIGACIÓN	
1.1. Generalidades.....	1
1.1.1 Descripción de la Fabrica Rest-O-Pan S.A.....	1
1.2. Tipos de circuitos para la distribución de aire comprimido.....	1
1.2.1 Circuito cerrado	2
1.2.2 Circuito abierto.....	3
1.2.3 Circuito mixto.....	4
1.3 Compresores.....	5
1.3.1 Definición de compresor	5
1.3.2 Tipos de compresores.....	6
1.3.2.1 Compresores alternativos.....	7
1.3.2.1.1 Entroncado de pistón.....	7
1.3.2.1.2 Cruceta.....	7
1.3.2.1.3 Laberinto.....	7
1.3.2.1.4 Diafragma.....	8
1.3.2.2 Compresores rotativos.....	8

1.3.2.2.1	Rotativos de un rotor	8
1.3.2.2.1.1	De paletas.....	9
1.3.2.2.1.2	De anillo líquido.....	9
1.3.2.2.1.3	De un solo tornillo rotativo.....	9
1.3.2.2.2	Rotativos de dos rotores.....	10
1.3.2.2.2.1	De tornillos dobles rotativos.....	10
1.3.2.2.2.2	Rotts.....	10
1.4	Accesorios.....	12
1.4.1	Válvulas.....	14
1.4.2	Sellantes.....	16
1.4.3	Tipos de manómetros.....	16
1.4.3.1	Manómetro de tubo U.....	17
1.4.3.2	Manómetro de tipo de cubeta o pozo.....	17
1.4.3.3	Manómetro del tipo bourdón.....	18
1.4.3.4	Manómetro de diafragma.....	18
1.4.3.5	Manómetro de fuelle.....	18
1.4.4	Unidades de mantenimiento.....	21
1.4.4.1	Filtros.....	23
1.4.4.2	Reguladores de presión.....	24
1.4.4.3	Lubricadores.....	25
1.4.5	Tuberías.....	27
1.4.5.1	Tipos de tuberías.....	28
1.4.5.1.1	Tubería de cobre.....	28
1.4.5.1.2	Tubería de acero.....	28
1.4.5.1.3	Tubería de hierro galvanizado.....	29
1.4.5.1.4	Mangueras.....	30
1.4.5.2	Capacidad o caudal determinado.....	30
1.4.6	Depósito de aire.....	31
1.4.7	Filtros de aire.....	33

1.4.7	Secadores de aire.....	34
1.4.7.1	Secadores frigoríficos.....	35
1.4.7.2	Secadores de adsorción.....	36
1.5	Diagnóstico situacional del sistema de aire comprimido de la planta de producción	39
1.5.1	Deficiencias del sistema.....	39
1.5.2	Efectos causados en el proceso por las deficiencias de aire comprimido.....	41

2. FASE TÉCNICO PROFESIONAL

2.1	Información de diseño de la red de aire comprimido en la planta de producción	42
2.1.1	Presión máxima en el sistema.....	42
2.1.2	Flujo máximo en el sistema.....	42
2.1.3	Longitudes equivalentes para accesorios.....	43
2.1.4	Volumen de almacenaje.....	45
2.1.5	Longitud total de la localización de la maquinaria en la planta de producción	45
2.1.6	Calculo de la unidad secadora de aire	45
2.2	Rediseño de la red de aire comprimido en la planta de producción	46
2.2.1	Cálculo de la tubería para el rediseño.....	46
2.2.2	Cálculo de diámetros de tubería para el rediseño.....	47
2.2.3	Cálculo de valvulería y accesorios.....	49
2.2.4	Cálculo de soportes para tubería según distancia.....	50
2.2.5	Cálculo del depósito de almacenamiento de aire comprimido.....	51
2.2.6	Cálculo de la capacidad del compresor que se va a utilizar.....	51
2.3	Mantenimiento propuesto al sistema.....	52
2.3.1	Mantenimiento de compresores.....	52

2.3.2	Mantenimiento de tuberías.....	53
2.3.3	Mantenimiento de válvulas y accesorios.....	54
2.3.4	Medidas de seguridad.....	55
CONCLUSIONES.....		59
RECOMENDACIONES.....		61
BIBLIOGRAFÍA.....		63
APÉNDICE.....		65

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Circuito cerrado	2
2.	Circuito abierto	3
3.	Circuito mixto	4
4.	Disposición de accionamientos comunes de compresores	5
5.	Clasificación de compresores	6
6.	Compresor centrífugo	11
7.	Válvula de bola	14
8.	Válvula de diafragma	15
9.	Válvula de asiento	16
10.	Válvula reductora de presión	16
11.	Válvula de aguja	16
12.	Manómetros	19
13.	Unidades de Mantenimiento	21
14.	Filtro	23
15.	Regulador	25
16.	Lubricador	26
17.	Depósito de aire	33
18.	Filtro de aire	34
19.	Secador de aire	37

20.	Distribución de maquinaria	40
21.	Diagrama unifilar del rediseño de la red de aire comprimido	48
22.	Red actual de aire comprimido de la planta de producción de Rest-O-Pan S.A.	64
23.	Nuevo diseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de Rest-O-Pan S.A.	65
24.	Isométrico, nueva red de aire comprimido	66
25.	Instalación de bajada típica hacia toma de aire	67

TABLAS

I	Longitud de tubería equivalente para accesorios y válvulas	13
II	Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería	30
III	Cálculo de depósitos de almacenaje de aire comprimido	31
IV	Presión barométrica	44
V	Factores multiplicadores para calculo de secadoras	46
VI	Diámetros y longitudes de tubería total del rediseño	47
VII	Longitudes de soportes de tubería	51
VIII	Mantenimiento del compresor.	53
IX	Pérdidas por fuga	54

GLOSARIO

Aire	Es un gas insípido, incoloro e inodoro que está compuesto principalmente de dos gases: nitrógeno 78.3 % y oxígeno 20.99 %, además contiene en pequeñas cantidades bióxido de carbono 0.003 %, argón 0.94 %, hidrógeno 0.01 %, neón, helio, kriptón y xenón..
Aire húmedo	Se dice que es un aire húmedo, cuando su composición presenta un porcentaje apreciable de vapor de agua. Generalmente el aire atmosférico es un aire húmedo.
Aire seco	Recibe el nombre de aire seco, aquel, cuyo contenido de vapor de agua es cero o despreciable. Para cuestiones de cálculo, se puede considerar al aire seco compuesto por 79 % de Nitrógeno y 21 % de Oxígeno.
Aire libre	Es el aire en condiciones atmosféricas en cualquier lugar específico. En virtud de que la altitud, la presión barométrica y la altura pueden variar en diferentes lugares y horas.
Adsorción	Adhesión o concentración de sustancias disueltas en la superficie de un líquido o alrededor de los cuerpos pulverulentos.

Barómetro	Es un instrumento para medir la presión atmosférica. Un barómetro esta constituido por un tubo transparente de longitud superior a: 762 mm hundido verticalmente por un extremo en un recipiente abierto, que contiene mercurio.
Temperatura de bulbo seco	La temperatura de bulbo seco, es la verdadera temperatura del aire húmedo y con frecuencia se la denomina sólo temperatura del aire; es la temperatura del aire que marca un termómetro común.
Caudal	Es el volumen de agua o aire de una corriente que fluye en una dirección dada en la que se tiene en cuenta la velocidad, pérdidas por fricción del medio en la que es conducida, y su volumen está referido en tiempo y gasto, según dimensional. Ésta se puede expresar en metros cúbicos por minuto, galones por segundo, litros por hora.
Densidad	Es la relación entre la masa de un cuerpo y su volumen; está expresado en kg. / cm ³ .
Flujo uniforme	Éste tiene lugar cuando el módulo, la dirección y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido.

Fluido	Son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que las contienen; todos los fluidos son incomprensibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma; los fluidos se pueden dividir en líquidos y gases; la diferencia es que los líquidos son prácticamente incomprensibles y los gases son comprensibles.
Humedad relativa	La humedad relativa del aire, se define como la razón entre la presión de vapor de agua en un momento dado (P_v) y la presión de vapor de agua cuando el aire está saturado de humedad (P_{vs}), a la misma temperatura. La humedad relativa se puede expresar como decimal o como porcentaje. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental.
Mantenimiento preventivo	Es un trabajo programado de reparación en máquinas compresoras o líneas de conducción de aire comprimido, para evitar paros repentinos por desperfectos no contemplados. Los fabricantes de compresores recomiendan darle mantenimientos preventivos a las unidades a cada cierto número de horas de trabajo; se deben seguir éstas disposiciones, para evitar costos de mantenimiento elevados y largos períodos de paro.
Peso específico	El peso específico w de una sustancia es el peso de la unidad de volumen de dicha sustancia. Los pesos específicos pueden calcularse mediante la ecuación de

estado de los gases o $PVs / T = R$ (Ley de Charles Boyle).

Presión

Son los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. La fuerza puede ejercerla un sólido, un líquido o un gas. $P = \text{fuerza} / \text{área}$.

Presión atmosférica

La presión que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre, recibe el nombre de presión atmosférica; esta presión no es constante para todos los puntos de la superficie terrestre, ya que está afectada por la altura. Se determina como presión atmosférica normal, la presión existente al nivel del mar, cuyo valor es de 14.7 lb/plg², 1.033 kg/cm² o 1 atmósfera.

Presión manométrica

Es la presión que se registra dentro un sistema y da la presión que está por encima o debajo de la atmosférica.

Presión absoluta

Es la suma de las presiones atmosférica y manométrica.

Temperatura

Considerada como unidad de medida de energía de traslación de las partículas o una medida de la actividad molecular (y de la energía interna de los gases).

Volumen

Dimensión de un cuerpo o espacio ocupado por un cuerpo; está dado en mm³, cm³ y m³.

Volumen específico

Es la relación entre el volumen de un cuerpo y su masa. $U_s = V / m$

RESUMEN

Este informe está basado en el nuevo diseño de una red de aire comprimido, que se realizó en la Fábrica Rest-O-Pan S.A., en donde se tienen problemas con la humedad del sistema y la alimentación de la maquinaria que se encuentra en la planta.

El estudio tiene como finalidad elevar la productividad de la maquinaria y de los empleados, para evitar reprocesos innecesarios que afectan a la empresa. El presente informe cuenta con dos capítulos; el primero presenta una fase de investigación y el segundo una fase técnico-profesional en donde se presentan figuras, tablas, planos, definiciones de los distintos tipos de compresores y accesorios que lleva una red de aire comprimido, un diagnóstico situacional de la red actual de aire comprimido, información de diseño, el nuevo diseño de la red y un mantenimiento propuesto al sistema; todo esto para solucionar el problema que se tiene. Se espera que el presente estudio sea tomado en cuenta por las personas encargadas de dicha empresa.

OBJETIVOS

Generales

1. Realizar un diagnóstico situacional de la red de aire comprimido instalada, y determinar sus deficiencias respecto de las necesidades actuales de la planta y del ahorro de energía eléctrica.
2. Capacitar operadores y mecánicos de los compresores, a través de seminarios sobre los diferentes equipos y accesorios que se tienen en la red de aire comprimido.
3. Diseñar un circuito de aire eficiente que permita cumplir con la demanda actual, cumpliendo con las normas técnicas que debe de tener una instalación de aire comprimido.

Específicos

1. Calcular el volumen de aire necesario en cada máquina y toma de aire, para que la producción no sea afectada.
2. Eliminar la humedad y condensado presente en el sistema de aire comprimido.
3. Colocar accesorios y válvulas adecuadas para una mayor eficiencia en el sistema.
4. Contar con operadores y mecánicos mejor capacitados.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el aire comprimido juega un papel muy importante en todas las ramas de la industria, ya que muchas máquinas industriales necesitan de este fluido para su operación, permitiendo lograr un mejor rendimiento en éstas y una mayor efectividad en los diferentes procesos de producción.

La planta de producción de la Fábrica Rest-O-Pan S.A. cuenta con una red de aire comprimido mal calculada e instalada, ya que conforme se fue necesitando del fluido, se fueron colocando tuberías de distintos diámetros, válvulas mal dimensionadas, grandes cantidades de accesorios no necesarios en la red. En algunos casos por el contrario cuando ya no se necesitaron ramales, la tubería no fue desmontada y quedó sin uso, con el paso del tiempo esto generó suciedad y fugas en el sistema, debido a esta mala distribución, se han encontrado algunos problemas en la red principalmente humedad y condensado así como fugas en el sistema lo que ocasiona un bajo rendimiento en la maquinaria, cuando se reduce la presión y caudal en el sistema de aire comprimido para la alimentación de los diferentes equipos neumáticos.

El presente trabajo está compuesto por dos capítulos, el primero de estos cuenta con una fase de investigación y consta de generalidades de la planta de producción de la Fábrica Rest-O-Pan S.A., definiciones básicas de compresores con los distintos tipos de accesorios para la instalación de redes de aire comprimido. El segundo capítulo trata sobre un diagnóstico situacional de la red de aire comprimido de la planta de producción y todo lo relacionado al rediseño de la red de aire comprimido desde presiones máximas, flujos máximos en el sistema, volúmenes de almacenaje, longitudes de tubería y un plan de mantenimiento propuesto al nuevo sistema.

1 FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Generalidades

1.1.1 Descripción de la Fábrica Rest-O-Pan S.A.

Es una empresa guatemalteca dedicada a la producción de equipo para la industria alimenticia, como hornos, muebles de acero inoxidable, estufas industriales, mostradores y todo lo relacionado con equipo para panadería. Se encuentra ubicada en el municipio de Mixco.

Este trabajo se está elaborando en la Planta de producción de la Fábrica Rest-O-Pan S.A., ya que ésta cuenta con un circuito de aire comprimido mal instalado y calculado, y esto se debe a que conforme a las necesidades de la planta con el paso del tiempo se han ido añadiendo y quitando ramales, además de un descuido en el mantenimiento de todo el equipo que compone la red de aire comprimido lo que la hace ineficiente.

1.2 Tipos de circuitos para la distribución de aire comprimido

Para la distribución de aire comprimido en un sistema, se tienen varios tipos de circuitos:

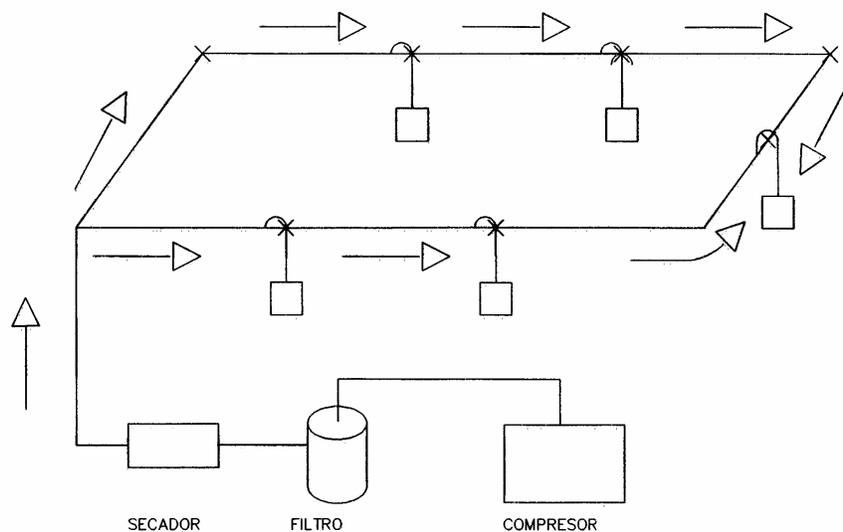
- Circuito cerrado
- Circuito abierto
- Circuito mixto

1.2.1 Circuito cerrado

Es el más utilizado en el diseño de líneas principales de distribución de aire comprimido, en donde la presión (psi), caudal (cfm) y velocidad (ft/s) del flujo de aire, se mantiene constante en los diferentes puntos del circuito, ya que el flujo se comparte en toda la línea y converge en un mismo punto de consumo en dos sentidos.

En el circuito cerrado, no se pueden colocar filtros reguladores, lubricadores, secadores de aire, filtros separadores y válvulas de cheque dentro de la línea principal de aire, ya que éstas unidades traen definida la dirección del flujo; por lo que los filtros reguladores, lubricadores y válvulas de cheque pueden ser colocados en los puntos de consumo de aire y los secadores de aire y filtros separadores, pueden ser colocados después de la instalación del compresor en la línea principal, como se muestra en la Figura 1.

Figura 1. Circuito cerrado



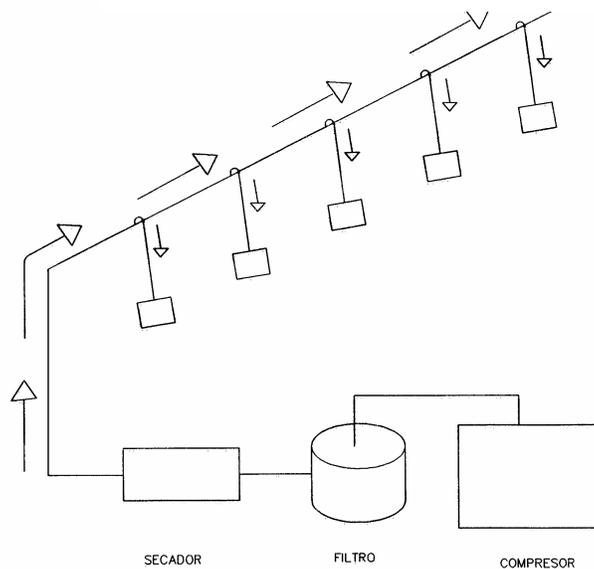
Fuente: Pedro Antonio Juárez Pizza, Diseño y montaje de sistemas neumáticos, pág.

1.2.2 Circuito abierto

El diseño de este tipo de circuito está limitado a redes de aire comprimido, relativamente pequeñas donde hay pocos puntos de alimentación, cercanos al compresor, ya que presenta dificultades en la velocidad de distribución del aire, fluctuaciones en la presión de la línea y reducción de suministro del caudal de aire según la distancia; este necesita de una supervisión más estricta en el sistema.

En este tipo de circuito, se pueden colocar reguladores de presión, lubricadores, filtros, válvulas de cheque y secadores de aire, ya que estos tienen definida la dirección del flujo de aire en un solo sentido, y permiten menos contaminación en la línea; en la Figura 2 se puede observar un circuito abierto.

Figura 2. Circuito abierto

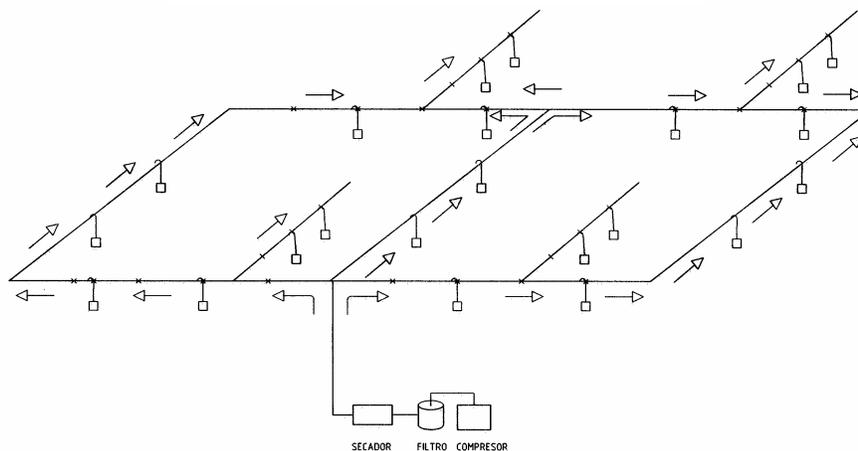


Fuente: Pedro Antonio Juárez Pizza, Diseño y montaje de sistemas neumáticos, pág. 9

1.2.3 Circuito mixto

Este circuito es una combinación del circuito cerrado y abierto; es utilizado en fábricas que tienen un elevado número de máquinas que necesitan de aire comprimido, el cual no tiene limitaciones en la demanda del fluido. En este caso, si la red de aire va a ser de considerables dimensiones, es muy importante, desde un punto de vista económico, planificarla cuidadosamente. Debe comenzarse con realizar un plano del lugar de trabajo. Sobre éste se anotan las necesidades de aire en términos de volumen, presión, calidad, posición, etc. Después se definirá la situación de los puntos de consumo. Estos se conectan a la sala del compresor, para ver qué dimensiones tendrán las líneas principales, desde éstas, que podrían ser horizontales o ascendentes, se derivan las líneas de servicio o ramales a los lugares de trabajo, y de tales ramales pueden bifurcarse otros más pequeños, a los que se conectan las mangueras de alimentación de las máquinas de aire comprimido; en la figura 3 se puede observar un circuito mixto de aire comprimido.

Figura 3. **Circuito mixto**



Fuente: Pedro Antonio Juárez Pizza, Diseño y montaje de sistemas neumáticos, pág. 11

1.3 Compresores

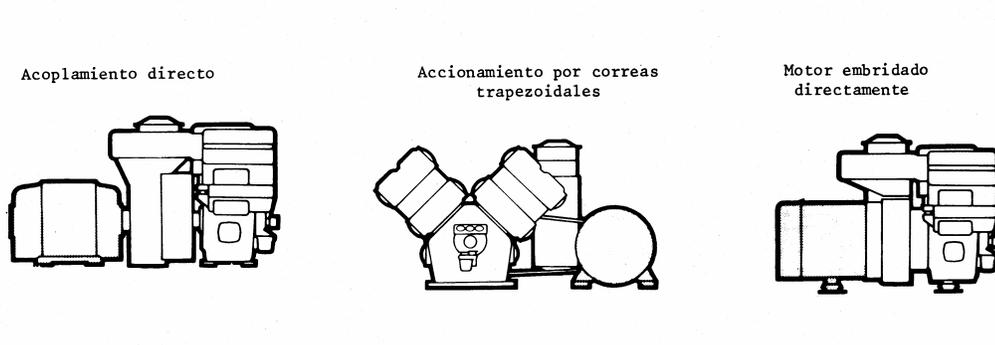
1.3.1 Definición de compresor

El compresor es una máquina que aspira aire de la atmósfera y disminuye el volumen de éste al ser comprimido, eleva la presión y almacena energía, para que luego sea utilizada en equipo neumático.

Un compresor de aire está compuesto de una unidad compresora y acoplada directamente, si es posible al motor de accionamiento. Si se necesita un engranaje, o volante de inercia, se utiliza una caja reductora, pero mucho más con frecuencia se utiliza la transmisión por correas trapezoidales.

A continuación en la Figura 4, se presentan tres disposiciones de accionamiento común de compresores:

Figura 4. Disposición de accionamientos comunes de compresores

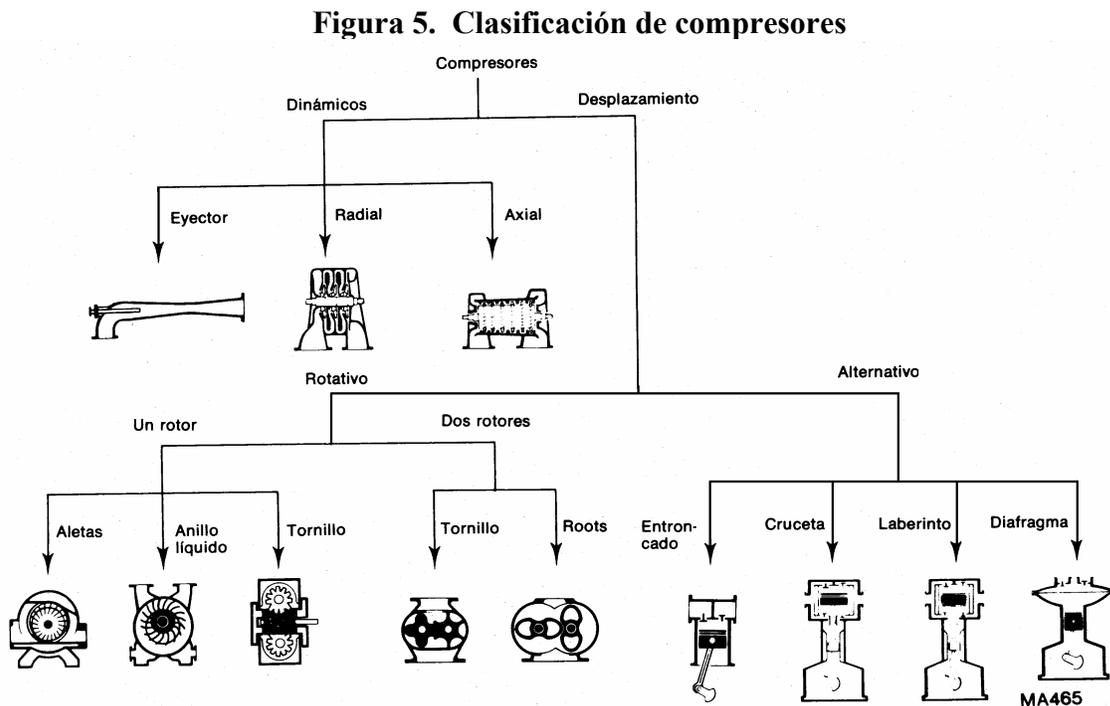


Fuente: Fundamentos de aire comprimido, Atlas Copco, pág. 65

1.3.2 Tipos de compresores

Los compresores de aire se clasifican en dos grupos:

- **De desplazamiento positivo:** estos compresores acumulan un volumen fijo de aire adentro de una cámara y, lo comprime al reducir el volumen de la misma. Estos compresores son de volumen constante y presión variable. Para presiones fijas de entrada y descarga y velocidad variable, los compresores de desplazamiento positivo son máquinas que tienen un par constante.
- **Dinámicos:** éstos trabajan al transferir la cantidad de movimiento (momentum) al gas por medio de un rotor de alta velocidad.



Fuente: Fundamentos de aire comprimido, Atlas copco, pag. 59

El primer grupo, al que corresponde la mayoría de los compresores de aire de uso común, se subdivide en: **alternativos** y **rotativos**

1.3.2.1 Compresores alternativos: éstos absorben el aire dentro de los cilindros, por medio de las válvulas de succión durante la carrera de succión al final de la carrera de descarga; el aire sale de los cilindros a una presión más alta. Estos compresores se clasifican en:

1.3.2.1.1 Entroncado de pistón

Compresor de desplazamiento positivo, que es utilizado en sistemas donde se requieren altas presiones, ya que son eficientes para trabajar con cargas parciales o a plena carga.

1.3.2.1.2 Cruceta

Estos cuentan con un vástago unido a la cruceta, que a su vez se une a la biela y ésta al cigüeñal; de ésta forma el compresor de cruceta puede llegar hacer de doble efecto.

1.3.2.1.3 Laberinto

Este es utilizado principalmente para suministrar aire exento de aceite; no hay contacto entre el pistón y las paredes del cilindro, y por consiguiente, al no existir lubricación entre ambos, el aire comprimido no se contaminará. Al objeto de una mínima tolerancia entre pistón y cilindros, se hace necesario dotar a las articulaciones de los vástagos, de grandes rodamientos, con amplias superficies de contacto entre éstos y sus alojamientos.

1.3.2.1.4 Diafragma

Estos compresores, accionados mecánicamente, se utilizan para presiones relativamente bajas y pequeñas cantidades de aire, como por ejemplo, para pequeñas instalaciones de pintura por pulverización; los compresores de diafragma accionados hidráulicamente se utilizan para comprimir a presiones muy altas, ya que la buena refrigeración permite una relación de presión elevada.

1.3.2.2 Compresores rotativos: estos compresores no poseen válvulas de admisión y de escape; solamente lumbreras en la entrada y salida de aire del compresor.

Los compresores rotativos se clasifican en la siguiente forma:

- **Compresores de un rotor:** cuentan con una carcasa cilíndrica y de dos rotores dentro de la que va montado en forma excéntrica 1 rotor ranurado, 1 rodete impulsor o un tornillo giratorio, el cual comprime el aire y luego es expulsado por la lumbrera de descarga.
- **Compresores de dos rotores:** Éstos cuentan con una carcasa en donde van montados horizontalmente dos tornillos o lóbulos colocados en contra rotación con acanaladuras helicoidales o lóbulos rectos.

1.3.2.2.1 Rotativos de un rotor

Dentro de los rotativos de un rotor, se tienen los siguientes:

1.3.2.2.1.1 De paletas

El compresor de paletas tiene una serie de paletas insertadas en las respectivas ranuras del rotor; las paletas son expulsadas hacia fuera, y sellan, contra la carcasa circundante, debido a la fuerza centrífuga. Las paletas están sujetas a desgaste y eso dificulta también el diseño de un compresor de este tipo, para que pueda trabajar económicamente con presiones variables. La mayor parte de estos compresores tienen inyección de aceite para lubricar las paletas, refrigerar el aire que comprimen, y lo más importante de todo, para sellar contra las pérdidas o fugas internas.

1.3.2.2.1.2 De anillo líquido

Estos tienen un rodete impulsor (rotor con alabes fijos) en lugar de rotor y paletas; su ventaja está en que en la cámara del compresor puede incluirse un disolvente químico apropiado, para limpiar el gas al mismo tiempo que está comprimiéndose.

1.3.2.2.1.3 De un solo tornillo rotativo

Éste es el tipo de lubricación con una relación de volumen integrada; el ciclo completo y de llenado cubre 360 grados de rotación del rotor principal para cada rueda de estrella, el compresor de un solo tornillo se emplea en la industria de la refrigeración, en donde una carga baja del rotor principal es una ventaja, también se utiliza como compresor de aire en los tamaños más pequeños.

La compresión adiabática del compresor de un solo tornillo es de 2 a 5 % más baja que la de uno de doble tornillo de tamaño comparable. El control de la capacidad es igual que en el compresor de doble tornillo.

1.3.2.2.2 Rotativos de dos rotores Dentro de estos tenemos los siguientes

1.3.2.2.2.1 De tornillos dobles rotativos:

Son compresores muy eficientes y requieren poco servicio de mantenimiento. La parte principal de estos compresores está constituido por un par de elementos (tornillos) colocados en contra rotación, con acanaladuras helicoidales que engranan entre sí, estos se encuentran encerrados dentro de una cubierta hermética.

Este tipo de tornillos están bañados en aceite, con el fin de lubricarlos y de enfriar el aire del sistema; el aire es aspirado en un extremo donde las acanaladuras se encuentran abiertas y es atrapado, cuando éstas engranan; lo comprime al continuar el ciclo de rotación como consecuencia de la reducción del volumen dentro de las acanaladuras hasta llevarlo al punto de descarga.

1.3.2.2.2.2 Rotts

Los compresores o sopladores Rotts (llamado también Soplador de Lóbulos Impulsores), pueden manejar grandes cantidades de aire, pero solamente para presiones muy bajas.

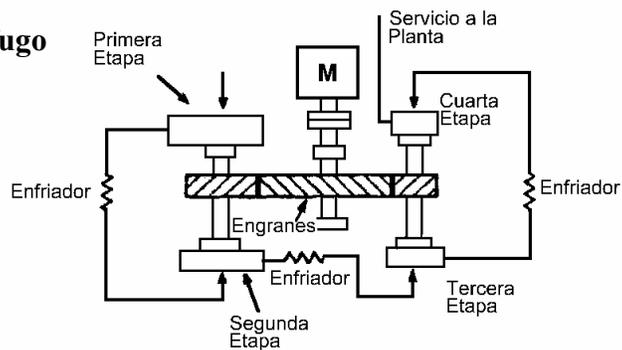
En el segundo grupo de compresores, se encuentran los Dinámicos, que son radicalmente diferentes, en cuanto a principio de trabajo se refiere. Los principales tipos son centrífugos o turbo compresores (algunas veces también se les llama radiales) y axiales. Su principio de trabajo se basa en el hecho de que el aire almacena gran velocidad.

Inicialmente el aire se comprime al ser rápidamente acelerado por los impulsores, este aire a alta velocidad; posee una energía cinética, que se transforma en energía de

presión, cuando el aire se le reduce sucesivamente de velocidad al pasar a través de las cámaras difusoras. Los impulsores van provistos de paletas y giran a muy alta velocidad (gran número de revoluciones por minuto). Cada impulsor no puede, sin embargo, incrementar la presión del aire considerablemente, puesto que la masa de dicho impulsor, está sujeta a las acciones de fuerza centrífuga, y en consecuencia, su velocidad es limitada y por consiguiente también lo es la presión que puede obtenerse. Al objeto de alcanzar la presión común requerida, 7 bar, se hace necesario disponer de varias etapas, que normalmente son 4. Más tarde, sin embargo, algunos fabricantes han logrado diseñar compresores centrífugos con 2 etapas y 7 bar de presión.

En la figura No. 6 se ilustra el compresor centrífugo de engranes integrales de cuatro etapas. Estos compresores tienen un tipo de conexión directa mediante piñones con un engrane principal. Una ventaja de los engrane es permitir que los piñones giren a diferentes velocidades y muevan cada par de impulsores cerca de su velocidad específica óptima. Las velocidades de rotación pueden ser de 70,000 rpm (revoluciones por minuto). Los enfriadores están fuera del cuerpo del compresor, por lo general en la base. Hay tipos con capacidades desde 1,400 hasta más de 26,000 cfm (pies cúbicos por minuto), con presiones de 20 a 450 psig (libras por pulgada cuadrada).

Figura 6. Compresor centrífugo



Fuente: Elonka/Robinson Operación de plantas industriales, preguntas y respuestas, pag. 523

1.4 Accesorios

Es el conjunto de piezas moldeadas o mecanizadas que unidas a los tubos mediante un procedimiento determinado forman las líneas estructurales de tuberías de una planta de proceso, también sirven para la colocación de válvulas, manómetros y equipos neumáticos. Estos accesorios pueden ser roscados para diámetros de hasta 4" y por medio de brida para diámetros mayores de 4".

Entre los tipos de accesorios más comunes se puede mencionar:

- Bridas
- Codos a 90 grados
- Codos a 45 grados
- Cruces
- Tees
- Reducidores
- Cuellos o acoples
- Válvulas
- Empacaduras
- Tornillos y niples

Entre las características se encuentran: tipo, tamaño, aleación, resistencia, espesor y dimensión.

- Diámetros. Es la medida de un accesorio o diámetro nominal mediante el cual se identifica al mismo y depende de las especificaciones técnicas exigidas.
- Resistencia. Es la capacidad de tensión en libras o en kilogramos que puede aportar un determinado accesorio en plena operatividad.

- Aleación. Es el material o conjunto de materiales del cual esta hecho un accesorio de tubería.
- Espesor. Es el grosor que posee la pared del accesorio de acuerdo a las normas y especificaciones establecidas. Una de las formas de clasificarlo es mediante la cedula, que no es más que el grosor de las paredes del accesorio o tubería, puede ser cedula 20, 40, 80, 120 ó 160 el grosor de determinada cedula está sujeto al tipo de material de que este fabricado.

A continuación, se muestra la longitud de tubería equivalente para accesorios y válvulas de la red, en la Tabla I

Tabla I Longitud de tubería equivalente para accesorios y válvulas

Válvulas, etc.		Longitud de la tubería equivalente en m						
		Diámetro interior de la tubería						
		1"	1½"	2"	3"	4"	5"	6"
Válvula de asiento		3-6	5-10	7-15	10-25	15-30	20-50	25-60
Válvula de diafragma		1.2	2.0	3.0	4.5	6	8	10
Válvula de compuerta		0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5
Codo		1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Curva R = d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.5	2.0	2.5
Curva R = 2d		0.15	0.25	0.3	0.5	0.8	1.0	1.5
Conexión de manguera. Pieza en T		2	3	4	7	10	15	20
Reducción		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.5	4.0

1.4.1 Válvulas

Las válvulas son dispositivos que se utilizan para la interrupción en una línea de aire, agua o vapor. Estas tienen las características de abrir y cerrar circuitos de un determinado fluido. Otro tipo de válvulas regula el flujo del fluido y presión. Al primer tipo mencionado, pertenecen, por ejemplo, las válvulas de esfera (válvulas de bola) válvulas de diafragma y otras clases de válvulas de cierre. Todas tienen las características de abrir y cerrar rápidamente, por lo que no son adecuadas para uso como mecanismo de regulación (la figura 7 nos muestra una válvula de tipo de bola).

Figura 7. Válvula de bola

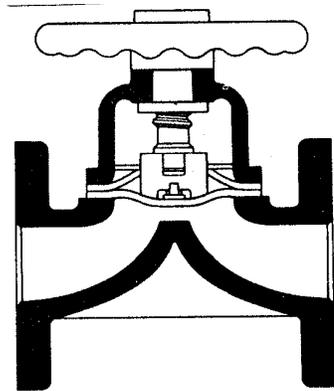


Fuente: Banjo corporation, 2007 product catalog

En las redes de aire comprimido, es particularmente importante, que las válvulas de cierre, al abrirse, den paso al aire con un mínimo de pérdidas de carga (pérdida de

presión), y que sellen perfectamente cuando están cerradas; una válvula de diafragma reúne todos estos requisitos (en la figura 8 se muestra este tipo de válvula).

Figura 8. Válvula de diafragma



Fuente: Fundamentos de aire comprimido, Atlas copco, pág. 43

Un buen tipo de válvula, bastante común, para regular exactamente el flujo de aire es el del tipo pistón (válvula de asiento), como la que se muestra en la Figura 9 suelen ser bastante voluminosas; por eso se utilizan más con frecuencia las del tipo diafragma o válvulas reductoras.

Si se quiere que la presión del aire, para una cierta máquina, sea más baja que la presión de la red de aire comprimido, puede conectarse a la mencionada máquina, una válvula reductora o convertidora de presión (Figura 10). Las válvulas de aguja (Figura 11) son generalmente utilizadas como válvulas distribuidoras de flujo para flujos pequeños.

Figura 9

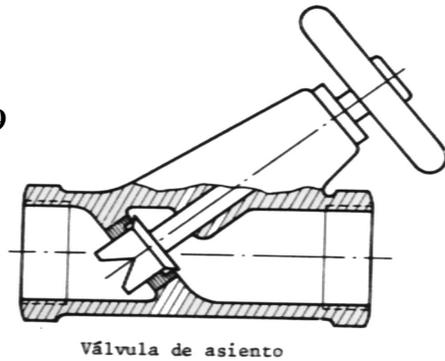


Figura 10

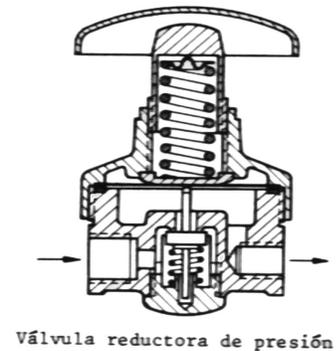
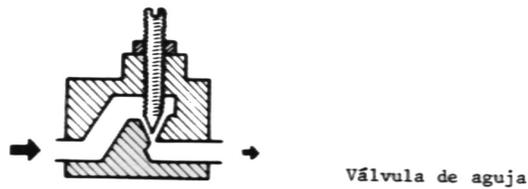


Figura 11



Fuente: Fundamentos de aire comprimido, (Atlas copco, pág. 44)

1.4.2 Sellantes

La conducción de aire comprimido se realiza por medio de tuberías y mangueras. En algunos casos, los tubos deben ser acoplados por medio de accesorios, y deben llevar algún tipo de sellante para no permitir los escapes de aire comprimido en éstos, y en equipo neumático existente en la red. En la actualidad, existe el Teflón que tiene dos presentaciones: una es como cinta plástica sin sintetizar y la otra líquida.

1.4.3 Tipos de manómetros

La presión está definida como la fuerza por unidad de área ejercida por un fluido, los dispositivos normales miden la presión con respecto a la atmosférica valor medio = 14.7 lb/plg^2 , $P_a = P_g + 14.7$, donde P_a = presión total o absoluta y P_g = presión a la que está el calibrador, ambas en lb/plg^2 . Convencionalmente, la presión a que está el calibrador y la del vacío se refieren a presiones por arriba y por debajo, respectivamente,

de la atmosférica. Comúnmente, las unidades son lb/plg², pulg. , pieH₂O, kg/cm², bar y mmHg. En el sistema internacional, la presión atmosférica media es de 1.013 KPa.

Los dispositivos de presión están basados en: 1) medición de la altura de una columna de líquido equivalente; 2) medición de la fuerza ejercida sobre un área determinada; 3) medición de algún cambio en las características eléctricas o físicas del fluido. Las mediciones de presión con los manómetros se basan en la siguiente relación: $p = wh = pgh/g_c$, en donde h es la altura del líquido de densidad p y peso específico w (supuestas constantes) con una aceleración local de la gravedad g y una propiedad del sistema de unidades g_c soportadas por una presión p . Así, con frecuencia la presión se expresa directamente en términos de la altura equivalente (parte superior) del líquido del manómetro. Los fluidos usuales en los manómetros son agua o mercurio, aunque suelen usarse otros fluidos para escalas especiales.

1.4.3.1 Manómetro de tubo U (Figura 12.a)

Expresa la diferencia de presión $p_1 - p_2$, así como la diferencia en niveles h . Si p_2 está descubierta o expuesta a la atmósfera, entonces la lectura sobre el manómetro indica la presión manométrica de p_1 . Si se hace el vacío en el tubo y p_2 , se cierra ($p_2=0$), entonces indicará la presión absoluta de p_1 .

1.4.3.2 Manómetro del tipo de cubeta o pozo (figura 12.b)

La escala se gradúa especialmente para tener en cuenta las variaciones del nivel dentro de la cubeta, de modo que sólo se requiera la lectura de un solo tubo. En particular, la figura 12.b ilustra la forma generalmente empleada para medir la presión atmosférica (barómetro de mercurio).

1.4.3.3 Manómetro del tipo Bourdón (figura 12.c)

Es el instrumento más utilizado para medir presiones. Consiste en un tubo aplanado de bronce o acero para resortes doblados en círculo; la presión interior del tubo tiende a rectificarlo. Un extremo del tubo está fijo a la entrada de la presión, el otro se mueve proporcionalmente a la diferencia de presiones que hay entre la aguja indicadora, por medio de un mecanismo de sector y piñón.

Para amplificar el movimiento, el curvado del tubo puede ser de varias vueltas y formar elementos en espiral o hélice, como los que usan los registros de presión.

1.4.3.4 Manómetro de diafragma

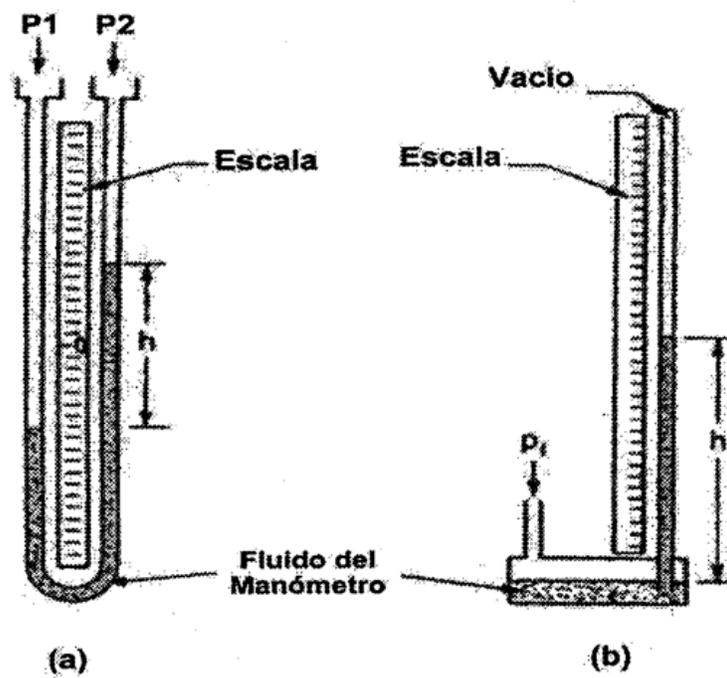
La presión actúa sobre éste en oposición a un resorte y otro miembro elástico. Por tanto, la deformación del diafragma es proporcional a la presión. Como la fuerza aumenta con el área de los diafragmas, si éstos se les da gran superficie pueden medirse presiones muy pequeñas. El diafragma puede ser metálico (latón, acero inoxidable) para que sea resistente mecánicamente y a la corrosión o no metálico (cuero, neopreno y caucho), para lograr alta sensibilidad y gran deformación. Con un diafragma rígido o poco flexible, el movimiento tiene que ser muy pequeño para que se mantenga la linealidad.

1.4.3.5 Manómetro de fuelle (figura 12.d)

Es algo semejante al de diafragma, pero con la ventaja de que proporciona una amplitud de movimiento mayor. La fuerza que actúa sobre el fondo del fuelle equilibra la deformación del resorte; este movimiento es transmitido al brazo de salida, que acciona una aguja o una pluma registradora. El movimiento (o la fuerza) del elemento de presión puede transformarse en una señal eléctrica que utiliza un transformador

diferencial o un elemento medidor de deformación o bien en una señal de presión de aire por la acción de una tobera y un piloto. Entonces, la señal se utiliza para transmisión, registro o control.

Figura 12. Manómetros



Fuente: Eugene A. Avollone, Theodore Baumeister III, Marks, Manual del Ingeniero Mecánico, McGraw Hill, 1996. pág. 16-10 , 16-11

Figura 12. (c) Manómetro tipo tubo Bourdon

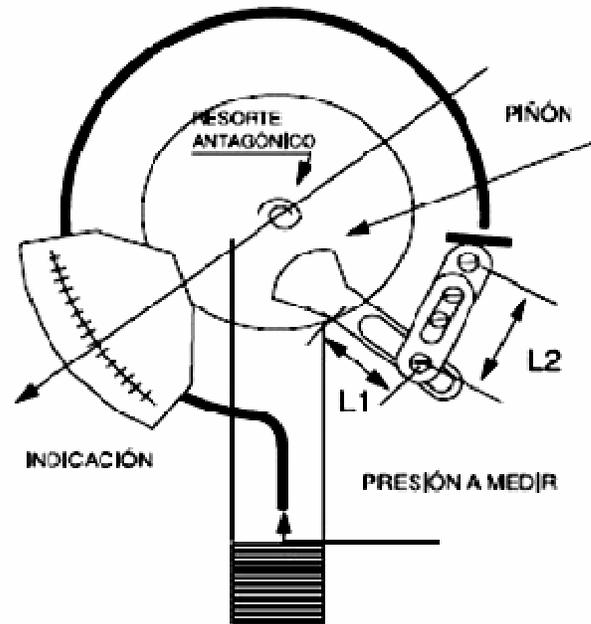
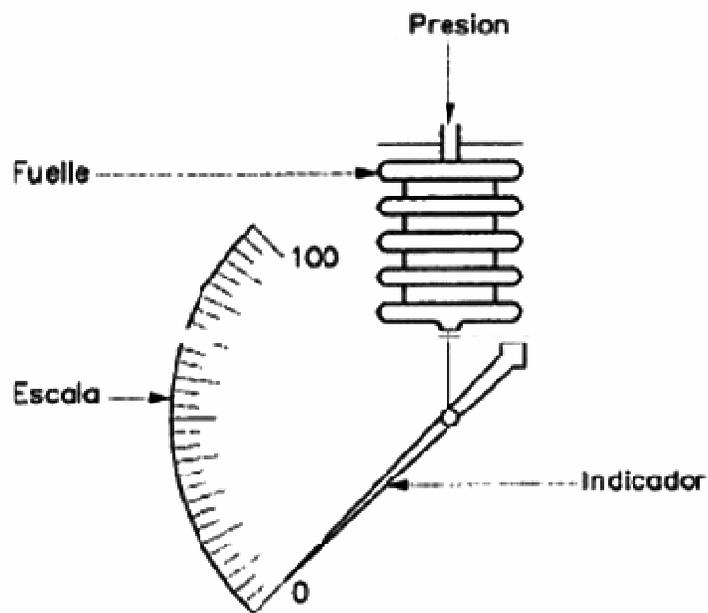


Figura 12 (d) Manómetro de Fuelle

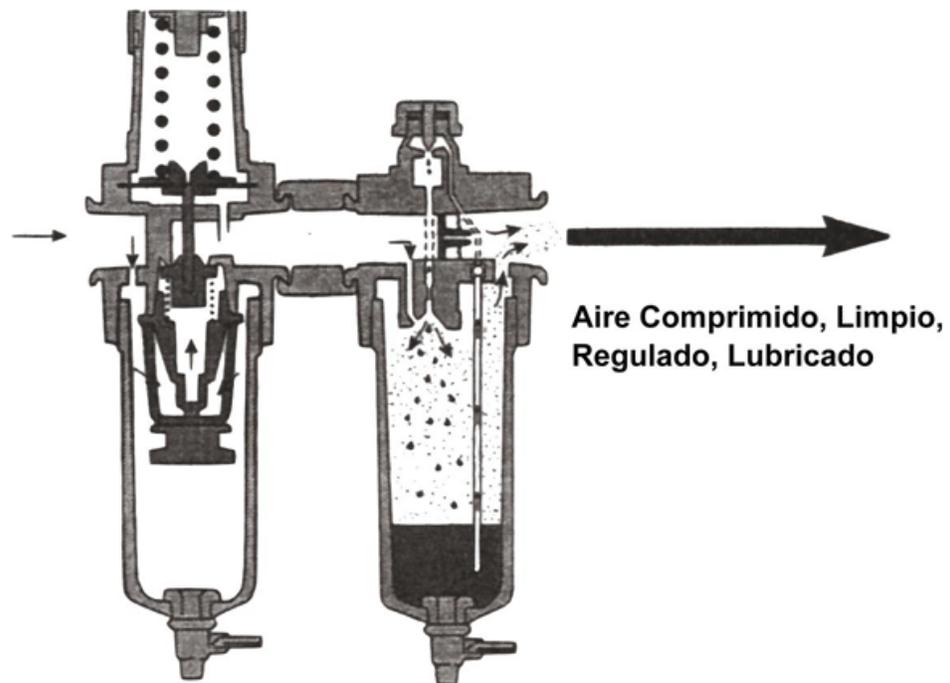


1.4.4 Unidades de mantenimiento

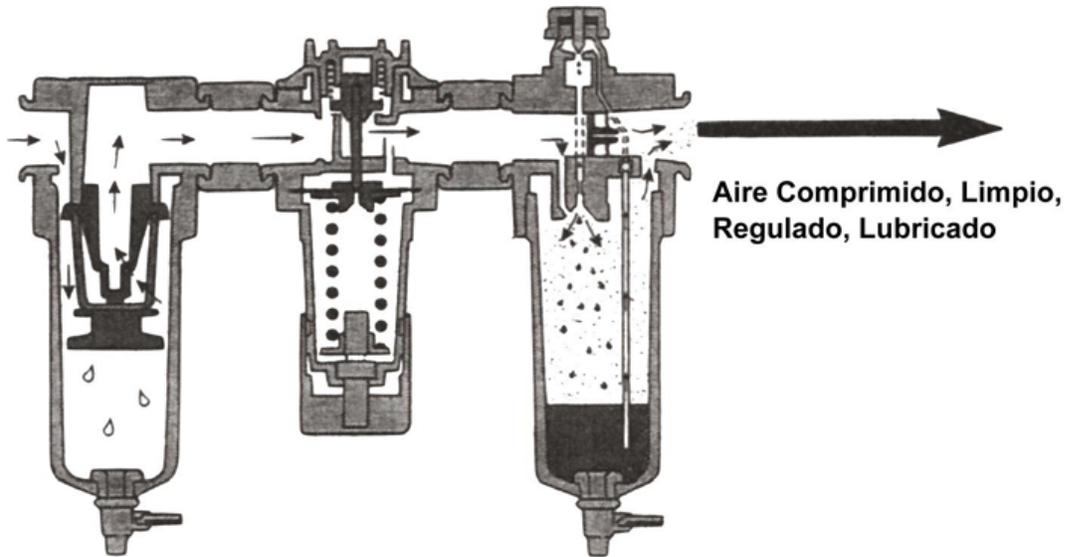
La suciedad del aire comprimido (cascarilla, óxido, polvo), así como también partículas líquidas contenidas en el aire que se depositan a modo de agua condensada, pueden causar grandes deterioros en las instalaciones neumáticas. Esta suciedad provoca el desgaste en superficies deslizantes y juntas, y dificulta el funcionamiento y reduce la duración de los elementos neumáticos. Para eliminarse estas influencias nocivas, deben emplearse en cada mando neumático las unidades de mantenimiento del aire comprimido, (en la figura 13 se muestran 3 distintas unidades de mantenimiento).

Figura 13. Unidades de mantenimiento

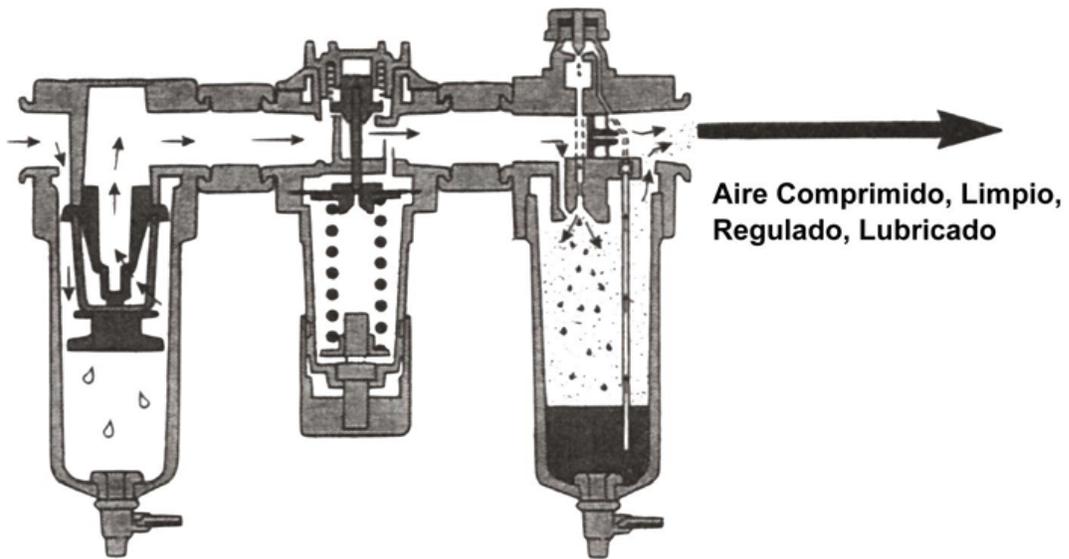
(a) filtro-regulador y lubricador



(b) filtro, regulador y lubricador



(c) filtro y lubricador



Fuente: Norgreen, productos para la conducción de aire comprimido, 1997. pág. 47

La unidad de mantenimiento simplifica la alimentación de aire de presión filtrado y lubricado. Estas unidades están compuestas de los siguientes elementos:

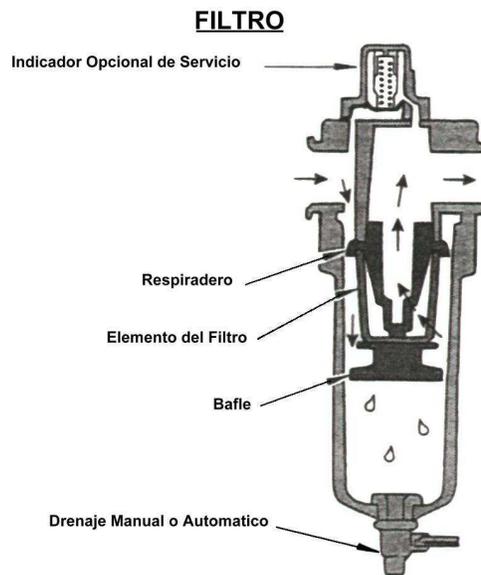
1.4.4.1 Filtros

Los filtros de aire comprimido retienen las partículas sólidas y las gotas de humedad contenidas en el aire. Las partículas mayores de 400 micrones (depende del cartucho filtrante) son retenidas por un filtro sinterizado.

Los líquidos son desviados a la copa del filtro mediante una instalación especial; el condensado en la copa se vacía periódicamente, pues de lo contrario, podría ser arrastrado por el aire a presión.

En determinadas industrias, se necesita con frecuencia de aire a presión pasado por filtros muy finos, como por ejemplo, la industria química, farmacéutica, textil, ingeniería de procesos técnicos e industria alimenticia. En estos casos, se emplean filtros submicrónicos. Los filtros submicrónicos retiran las minúsculas gotas de agua, aceite y las partículas de suciedad aún contenidas en el aire a presión, (en la figura 14 se muestra un filtro de aire comprimido).

Figura 14



Fuente: Norgreen, productos para la conducción de aire comprimido, 1997. pág. 5

1.4.4.2 Reguladores de presión

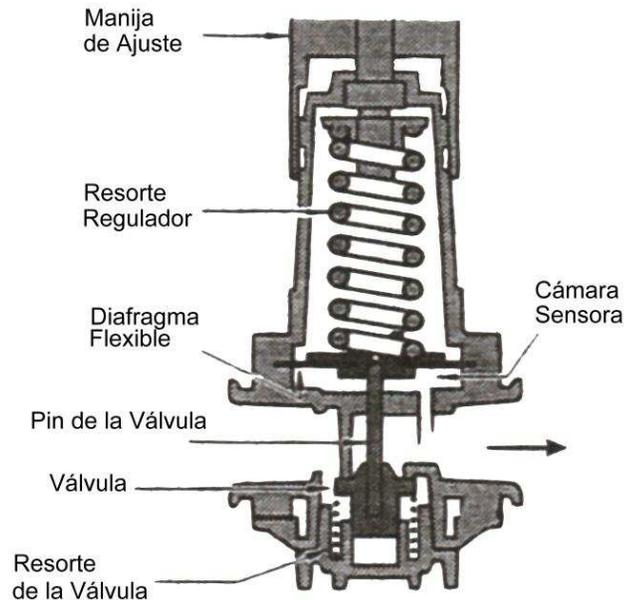
La seguridad de funcionamiento y la durabilidad de una instalación neumática dependen considerablemente del buen acondicionamiento del aire comprimido.

Una buena red de aire comprimido debe tener, entre sus accesorios, reguladores de presión, con el fin de disponer de diferentes presiones en distintos puntos del circuito.

Los reguladores de presión están compuestos de un diafragma flexible, que controla una válvula por medio de una espiga y un resorte que es presionado contra el diafragma por la acción de un tornillo regulador. Cuando el tornillo está completamente libre, no se aplica ninguna carga sobre el resorte y se cierra la válvula de paso; cuando se comienza a apretar el tornillo se le va aplicando una carga al resorte, la que es transmitida a la válvula por medio del diafragma; esto permite la abertura del diafragma. La conexión y desconexión del compresor originan oscilaciones en la presión que influyen negativamente en el funcionamiento de la instalación.

La válvula reguladora de presión mantiene constante la presión de trabajo (lado secundario), independiente de las oscilaciones de la presión en la red (lado primario) y sin importar el consumo de aire. La presión de entrada debe ser siempre mayor que la de trabajo. El caudal debe ajustarse en función del volumen de aire necesario. Por lo tanto, el regulador de presión reduce la presión del aire de alimentación hasta el trabajo, y evita fluctuaciones de presión.

Figura 15. Regulador



Regulador

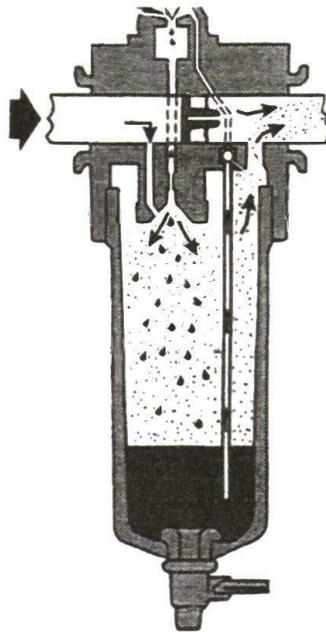
Fuente: Norgreen, productos para la conducción de aire comprimido, 1997. pág. 15

1.4.4.3 Lubricadores

El lubricador de aire tiene la función de lubricar de modo suficiente a todos los elementos neumáticos. El aceite es aspirado del depósito y el aire a presión se encarga de difundir la niebla lubricante. El lubricador funciona solamente si el caudal de aire es suficientemente fuerte; la cantidad de aceite puede ser dosificada. El lubricador se basa en la igualdad de presiones dentro del depósito del lubricador y en la línea; esto se debe al orificio que tiene el tubo de venturi del lubricador; esta presión eleva el aceite por un tubo de aspiración hasta una cámara colocada por encima del punto de goteo.

A medida que el aceite va cayendo en el tubo de venturi y entra a la corriente de aire, se pulveriza y forma una niebla, que es llevada al elemento neumático, (la figura 16 muestra un lubricador de aire comprimido). La instalación típica de esta tipo de accesorios es filtro-regulador-lubricador como lo es en la unidad de mantenimiento compacta.

Figura 16. Lubricador



Fuente: Norgreen, productos para la conducción de aire comprimido, 1997. pág. 5

1.4.5 Tubería

La tubería es un conducto compuesto de tubos que cumple la función de transportar agua u otros fluidos. Se suele elaborar con materiales muy diversos. Cuando el líquido transportado es petróleo, se utiliza la denominación específica de oleoducto. Cuando el fluido transportado es gas, se utiliza la denominación específica de gasoducto. También es posible transportar mediante tubería materiales que, si bien no son un fluido, se adecúan a este sistema: hormigón, cemento, cereales, documentos encapsulados, etcétera.

Hay tres métodos de fabricación de tubería:

- **Sin costura** (sin soldadura). La tubería se forma a partir de un lingote cilíndrico que es calentado en un horno antes de la extrusión. En la extrusión deforma con rodillos y posteriormente se hace el agujero mediante un penetrador. La tubería sin costura es la mejor para la contención de la presión gracias a su homogeneidad en todas sus direcciones. Además, es la forma más común de fabricación y por tanto, la más comercial.
- Con costura **longitudinal**. Se parte de una lámina de chapa, la cual se dobla dándole la forma a la tubería. La soldadura que une los extremos de la chapa doblada cierra el cilindro. Por tanto, es una soldadura recta que sigue toda una generatriz. Variando la separación entre los rodillos se obtienen diferentes curvas y con ello diferentes diámetros de tubería. Esta soldadura será la parte más débil de la tubería y marcará la tensión máxima admisible.

1.4.5.1 Tipos de tubería

Existen diferentes tipos de tubería para la conducción de aire comprimido; a continuación se presenta una breve descripción de las tuberías.

1.4.5.1.1 Tubería de cobre

Es un medio de transporte de aire comprimido; el tubo de cobre se vende en longitudes rectas de 12 y 20 pies o en rollos de 100 pies de longitud. El tubo de cobre tipo K, en rollos, se emplea en obras subterráneas y plomería, en las que el número mínimo de uniones combinado con el mayor espesor del tubo tipo K, resulta ventajoso. El tubo tipo L, por lo común en tramos rectos, se utiliza como material de tubería en los sistemas de plomería de casas y edificios; esto se debe principalmente a los costos de su instalación por el empleo de accesorios soldados. Estos dos tipos de tubería pueden ser utilizados para el transporte de aire comprimido, ya que éste no se encuentra a altas temperaturas y el cobre se deteriora con rapidez a temperaturas altas y bajos esfuerzos repetidos. A una temperatura de 360° F (182° C), su resistencia se reduce en un 15%, y teniendo esto en cuenta, no debe emplearse con altas temperaturas y presiones de vapor.

1.4.5.1.2 Tubería de acero

Este es un tubo para servicio mecánico se produce en tres clases de espesor de pared: peso estándar, extra fuerte y doble extra fuerte. Se consigue como tubo soldado o sin costura, con acabado y tolerancias dimensionales comunes; los tamaños comerciales del tubo común de acero se conocen por su diámetro interior (DI) nomina, desde 1/8 de pulgada (0.3175 cm) a 12 pulgadas (30.5 cm). Por encima de 12 pulgadas de DI, se conocen comúnmente por su diámetro exterior (DE). Todas las clases de tubos de un

tamaño nominal dado tienen el mismo DE, que afecta al DI en el espesor adicional para pesos diferentes.

Este tubo se emplea para fines estructurales y mecánicos como conducir fluidos y gases a temperaturas o presiones normales, debajo de cero o elevadas, o combinaciones de ambas condiciones.

El tubo de acero es comúnmente sin costura, y se puede producir por: 1) perforación, 2) forjado de hueco y 3) forja, torneado y calibración del hueco. El tubo común comercial se produce también por soldadura, que puede ser: a) soldadura por resistencia eléctrica; b) soldadura eléctrica por fusión, y c) soldadura de arco sumergido.

1.4.5.1.3 Tubería de hierro galvanizado

Este tipo de tubería se utiliza en líneas de aire comprimido, ya que es resistente a la corrosión; se producen en una amplia variedad de tamaños para presiones variables y puede ser utilizado en servicios subterráneos y sumergidos. Este puede obtenerse en varios espesores y pesos: a) fundición con bridas; b) con sus extremos roscados para introducir a rosca las bridas; c) extremos separados para una junta mecánica; d) con los extremos ranurados o con un resalto para acoplamientos patentados.

Para la instalación de tuberías de acero y hierro galvanizado, los soportes más apropiados son:

- De tirante, que es el más común, posee tensor de ajuste para establecer la dirección de la tubería.
- De rodillo
- De anclaje

1.4.5.1.4 Mangueras

Las mangueras son utilizadas en sistemas de aire comprimido para el accionamiento de herramientas móviles y sistemas estacionarios, están construidas de un forro liso en su interior, el cual es resistente a la neblina de aceite; tiene una capa intermedia resistente a la presión y de un forro externo flexible, que debe ser resistente a solventes.

Las mangueras para transportar aire comprimido tienen un rango de presión de 100 a 150 libras por pulgada cuadrada; el uso de este medio de transporte permite una mejor movilidad de herramienta o equipo.

1.4.5.2 Capacidad o caudal determinado

En la tabla II, se presentan distintos valores de caudales de aire comprimido expresados en p₃/min. (cfm.) a diferentes presiones, basado en una caída de presión de un 10% por cada 100 pies de longitud de tubería para diámetros de 1/8", 1/4", 3/8" y 1/2". Con una caída de presión de un 5% por cada 100 pies de longitud de tubería para diámetros de 3/4", 1", 1-1/4", 1-1/2", 2", 2-1/2", 3" y 4". La forma de utilizar la Tabla II es la siguiente; si tenemos una máquina que trabaja a una presión de 110 psi. y necesita 70 cfm con una caída de presión de un 5% por cada 100 pies de longitud de tubería, para alimentar esta máquina, podremos utilizar tubería de 3/4", y así asegurarnos que ésta realice un trabajo continuo.

Tabla II Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería

<i>P</i> <i>Pslg</i>	<i>DIAMETRO DE TUBERIA</i>											
	<i>Caída de Presión 10%</i>				<i>Caída de presión 5%</i>							
	<i>1/8"</i>	<i>1/4"</i>	<i>3/8"</i>	<i>1/2"</i>	<i>3/4"</i>	<i>1"</i>	<i>1-1/4"</i>	<i>1-1/2"</i>	<i>2"</i>	<i>2-1/2"</i>	<i>3"</i>	<i>4"</i>
5	0.5	1.2	2.7	4.9	6.6	13	27	40	80	135	240	310
10	0.8	1.7	3.9	7.7	11	21	44	64	125	200	370	500
20	1.3	3	6.6	13	18.5	35	75	110	215	350	600	800
40	2.5	5.5	12	23	34	62	135	200	385	640	1100	1500
60	3.5	8	18	34	50	93	195	290	560	900	1600	2050
80	4.7	10.5	23	44	65	120	255	380	720	1200	2100	2800
100	5.8	13	29	54	80	150	315	470	900	1450	2600	3500
110	6.3	14.4	31.5	59.2	87	164	344	512	990	1600	2860	3800
150	8.6	20	41	80	115	220	460	680	1350	2200	3900	5200
200	11.5	26	58	108	155	290	620	910	1750	2800	5000	6666
250	11.5	33	33	135	200	370	770	1150	2200	3500	6100	8100

1.4.6 Depósito de aire

El depósito de aire es un equipo muy importante que debe estar conectado directamente al compresor y tiene tres funciones principales. La primera función para separar el condensado de agua en colaboración con el refrigerador posterior. Se puede tener instalados dos o más depósitos de aire, en lugar de uno, con lo que se incrementará la separación del condensado. La segunda función es la de servir como depósito amortiguador de pulsaciones del aire comprimido, particularmente en el caso de compresores de pistón. Una amortiguación de pulsaciones satisfactoria se obtiene con un volumen de depósito en metros cúbicos, 6 veces la capacidad del compresor en metros cúbicos por minuto (10% de salida / minuto). La tercera función, y la más importante de los depósitos, es la de almacenar aire comprimido. Es mejor un depósito grande para almacenar aire comprimido. No obstante, si fuera muy grande, sería costoso y ocuparía mucho espacio.

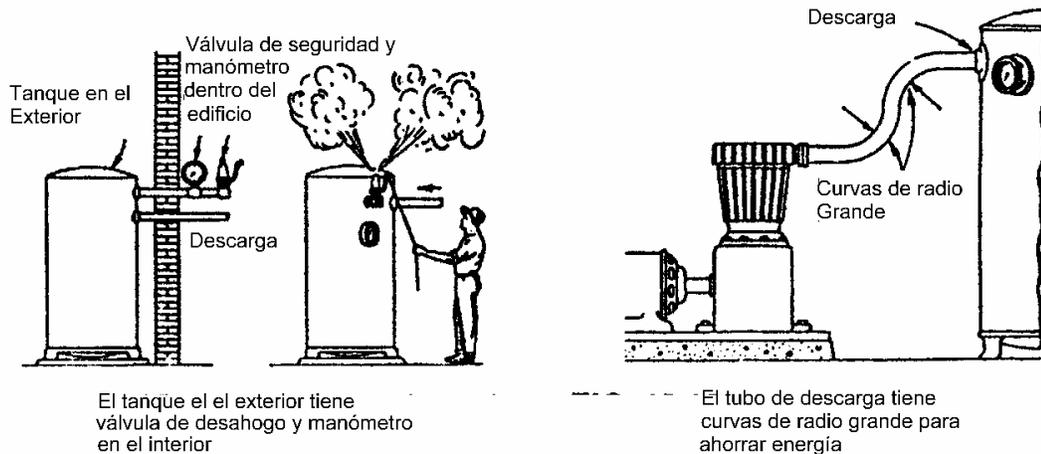
Para el caso de los compresores transportables, hay que pensar acerca de su peso y volumen; por eso tales máquinas disponen de otros depósitos, distintos al de los compresores estacionarios. El volumen más pequeño que un depósito debería tener, lo cual depende principalmente de dos factores: del flujo de aire normal y del sistema de regulación del compresor. Dicho volumen puede elegirse en la Tabla III.

Tabla III Cálculo de depósitos de almacenaje de aire comprimido

<i>Lt/min</i>	<i>m³/min</i>	<i>Volumen depósito m³</i>
1.6 - 4.0	0.1 - 0.25	0.15
4.0 - 8.0	0.25 - 0.5	0.25
8.0 - 16.5	0.5 - 1.0	0.375
16.5 - 50.0	1.0 - 3.0	0.5
50.0 - 270	3.0 - 16.0	1
270 - 500	16.0 - 30.0	2
500 - 1000	30.0 - 60.0	4
1000 -	60.0 -	6

Debe tenerse en cuenta que los depósitos de aire están sujetos a determinadas normas, muy estrictas por cierto, y que deberían inspeccionarse regularmente. Los depósitos de aire están provistos de una válvula de seguridad, que debe inspeccionarse también, haciéndola funcionar, y de una válvula de drenaje para el condensado, que igualmente debe probarse. Por todo eso, los depósitos deben instalarse de tal modo, que puedan inspeccionarse desde cualquier posición.

Figura 17. Depósito de aire



Fuente: Elonka/Robinson Operación de plantas industriales, preguntas y respuestas, pág. 533

1.4.7 Filtros de aire

Un compresor requiere un filtro de aspiración muy eficaz, para asegurar un funcionamiento exento de dificultades. De otra forma, los abrasivos, que están en el aire, llegarían al aceite de lubricación, y podrían causar desgaste excesivo en cilindros, segmentos, cojinetes, etc. Los filtros más comunes son hoy los de papel, con cartuchos recambiables. Los compresores transportables, trabajan en ambientes polvorientos, en donde pueden ser usados filtros del tipo ciclónico, que actúan a menudo como pre-filtro. Cada compresor necesita un filtro acorde con las condiciones de trabajo, (en la figura 18 se muestra un filtro de aire).

Por esa razón, siempre es necesario especificar el grado de filtración deseado, y contactar con el fabricante del compresor, para que suministre el sistema de filtración completo.

Es importante adoptar para los filtros un servicio de mantenimiento regular, y también, que los cartuchos de papel se reemplacen siguiendo las instrucciones del fabricante.

Figura 18. Filtro de aire



Fuente: Sullair, Catalogo de productos 2006

1.4.7 Secadores de aire

El aire que aspira un compresor es una mezcla de aire y vapor de agua (agua en forma de gas). Si el vapor de agua dentro del sistema de aire comprimido se comportara siempre como un gas, semejante al aire, se utilizaría sin otras precauciones. Sin embargo, este vapor puede, bajo determinadas circunstancias, pasar de gas a líquido, es decir a agua (bajando la temperatura). Cuando esto ocurre, el vapor de agua se condensa, y su nombre es condensado o agua condensada. Estos condensados son enormemente perjudiciales.

Si el sistema de aire comprimido alimenta máquinas lubricadas, el agua condensada le quitará las propiedades de lubricación al aceite. Con ello, se aumentará el consumo de lubricante y también el riesgo de averías en las mismas. Existe además otra desventaja, y es que el condensado puede congelarse en las aberturas de escape de las máquinas neumáticas. Esto ocurre con bastante frecuencia, cuando la temperatura del aire comprimido está considerablemente sobre cero, ya que el aire se refrigera cuando sale al exterior (se expande), una vez realizado su trabajo en el interior de la máquina. El hielo, formado en los escapes, hace que las máquinas pierdan potencia, e incluso llegar a pararse, por eso hay que eliminar el agua de las redes. Otra desventaja del condensado de agua es que pueda formarse hielo en las tuberías situadas a la intemperie durante el invierno. Si se elimina el agua, se podrán evitar deterioros en las conducciones.

Resulta evidente pues, que es necesario de un refrigerador posterior, que separe el agua condensada, para realizar un buen trabajo.

Básicamente hay dos tipos de secadores de aire comprimido:

1.4.7.1 Secadores frigoríficos:

Este tipo de secador es el más común que existe y trabaja con un sistema de refrigeración que enfría simplemente el aire comprimido a unos 2 - 5° C, de manera que el vapor de agua se condense y pueda purgarse. El aire comprimido se recalienta a continuación, a una temperatura de 20° C, lo que representa que el aire queda relativamente seco. El secado frigorífico es un proceso continuo. Un secador de este tipo trabaja como un súper-refrigerador posterior y vienen en varios modelos de capacidades muy diferentes.

1.4.7.2 Secadores de adsorción:

Estos funcionan haciendo pasar el aire comprimido a través de un material desecante al que se adsorbe el vapor de agua, es decir que se adhiere a su superficie. Al quitar más y más vapor del aire comprimido, el desecante se va saturando de agua progresivamente.

Los secadores de adsorción pueden secar el aire comprimido, hasta un punto de rocío a presión (PRP) de -40°C o inferior. Para conseguir un secado continuo, la mayoría de los secadores de adsorción tienen dos torres de desecante en paralelo: una secando el aire comprimido, al mismo tiempo que la otra se regenera normalmente.

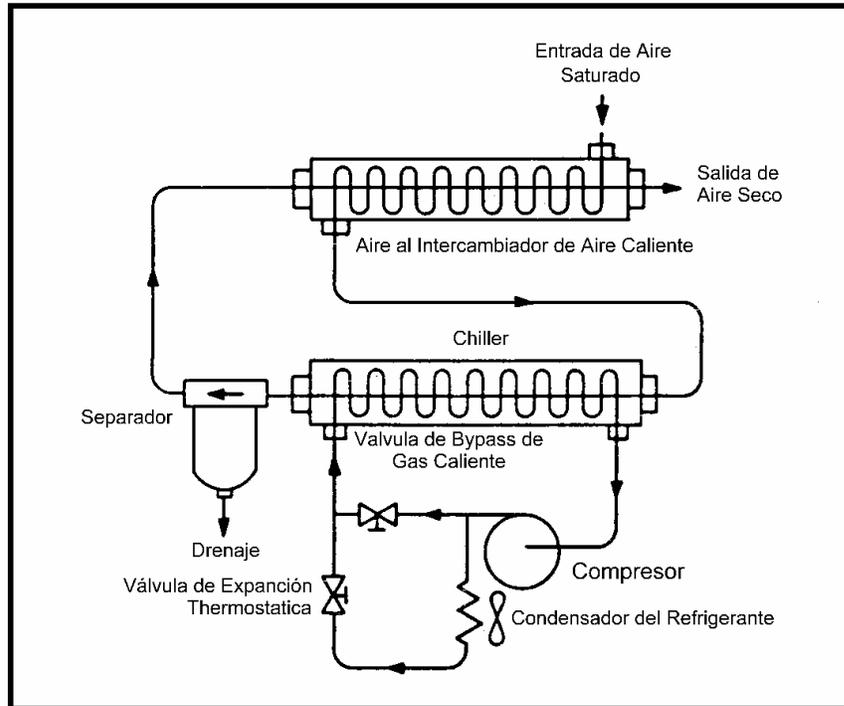
¿Cuándo se debe usar un secador Frigorífico o uno de adsorción? Si el aire comprimido se va a emplear solamente en redes de aire internas, o para accionar herramientas neumáticas en el interior, normalmente es necesario un secador frigorífico; por supuesto que cuanto más bajo sea el punto de rocío a presión (PRP), es mejor.

Si el aire comprimido se distribuye por redes de aire al aire libre (en climas fríos), o sea usa para instrumentación, o cuando en los escapes de aire se produce hielo, hay que usar un secador de adsorción con un punto de rocío a presión (PRP) de -20°C y, por supuesto, en aplicaciones especiales en las que hace falta aire muy seco; esto solamente se puede conseguir con un secador de adsorción.

Los principales criterios que se deben tener en cuenta para la selección de un secador son: eficiencia, costos de energía, disponibilidad de repuestos y servicio, temperatura de entrada disponible, caída de presión y precio de compra; (en la figura 19 se muestra el esquema de un secador y su conexión a la red de aire comprimido).

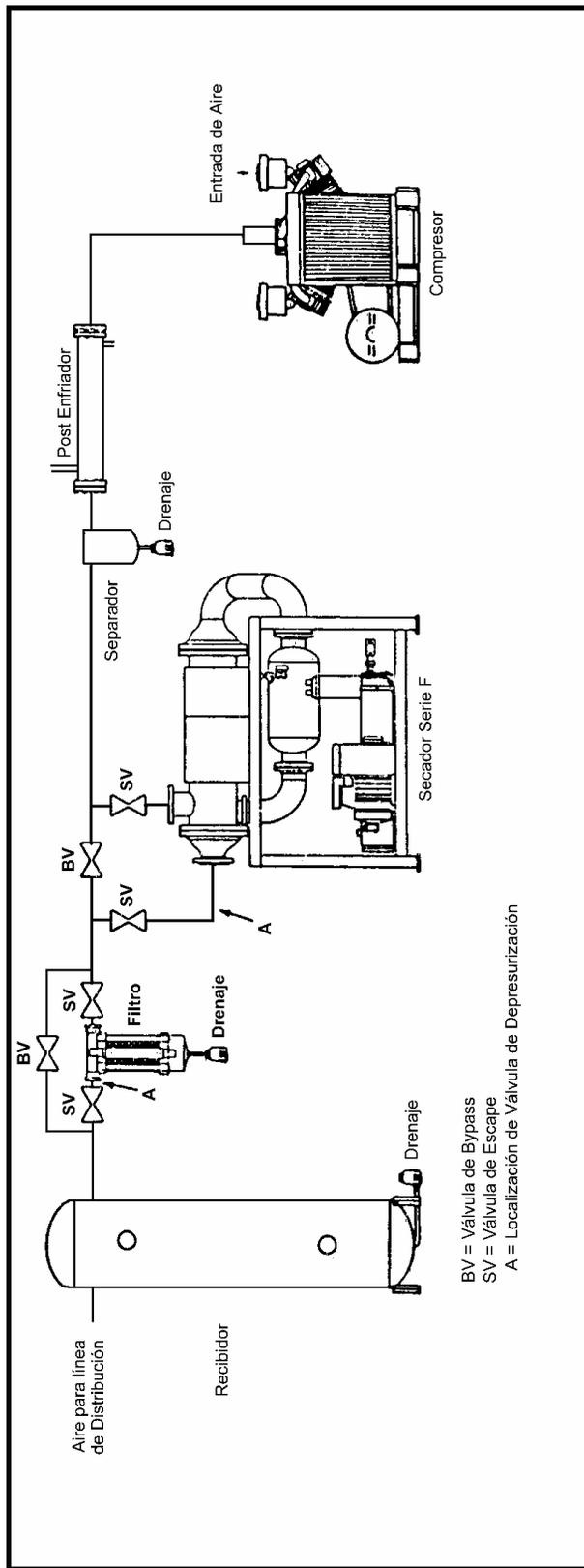
Figura 19. Secador de aire comprimido

(a) Esquema del flujo de aire y refrigerante, (b) Sistema típico de aire comprimido



Esquema del Flujo de Aire y Refrigerante

19.a



Sistema Típico de Aire Comprimido

19.b

Fuente: Operators Instruction Manual. Ingersoll-Rand, Air Compressor, Refrigerated air Dryers F series. Pág. 3

1.5 Diagnóstico situacional del sistema de aire comprimido de la planta de producción

1.5.1 Deficiencias del sistema

La planta de producción de Rest-O-Pan S.A. presenta una humedad alta en el sistema de aire comprimido en toda la red; esto se debe a la falta de accesorios en la red (unidades de mantenimiento, filtros y secadores) además de un mal montaje de toda la tubería en sí.

Además, presenta una escasez de aire comprimido en ciertas áreas de la planta debido a la mala distribución de tubería, mal cálculo de diámetros de tubería y demasiados accesorios innecesarios en toda la red. Además cabe mencionar que se tienen ramales sin uso ya que se eliminó cierta maquinaria con el paso del tiempo, pero la tubería de aire comprimido quedó montada, deteriorándose al grado de ya tener algunas fugas.

Por lo anterior, se tienen bajas presiones de trabajo y un reducido caudal (cfm) de aire, necesarias en la alimentación de las máquinas de corte y pintura para un rendimiento óptimo. En la planta se tienen 8 tomas de aire, se tomaron los siguientes datos de presión para dar una idea cuantitativa del estado de la red de aire comprimido:

No.	Máquina	P real (psi)	P óptima (psi)
1.	Cortadora de lámina	70	80
2.	Dobladora de lámina	70	80
3.	Herramienta 1	65	80
4.	Herramienta 2	65	80
5.	Pistola para pintar 1	50	80
6.	Pistola para pintar 2	50	80
7.	Toma de aire 1	60	80
8.	Toma de aire 2	60	80

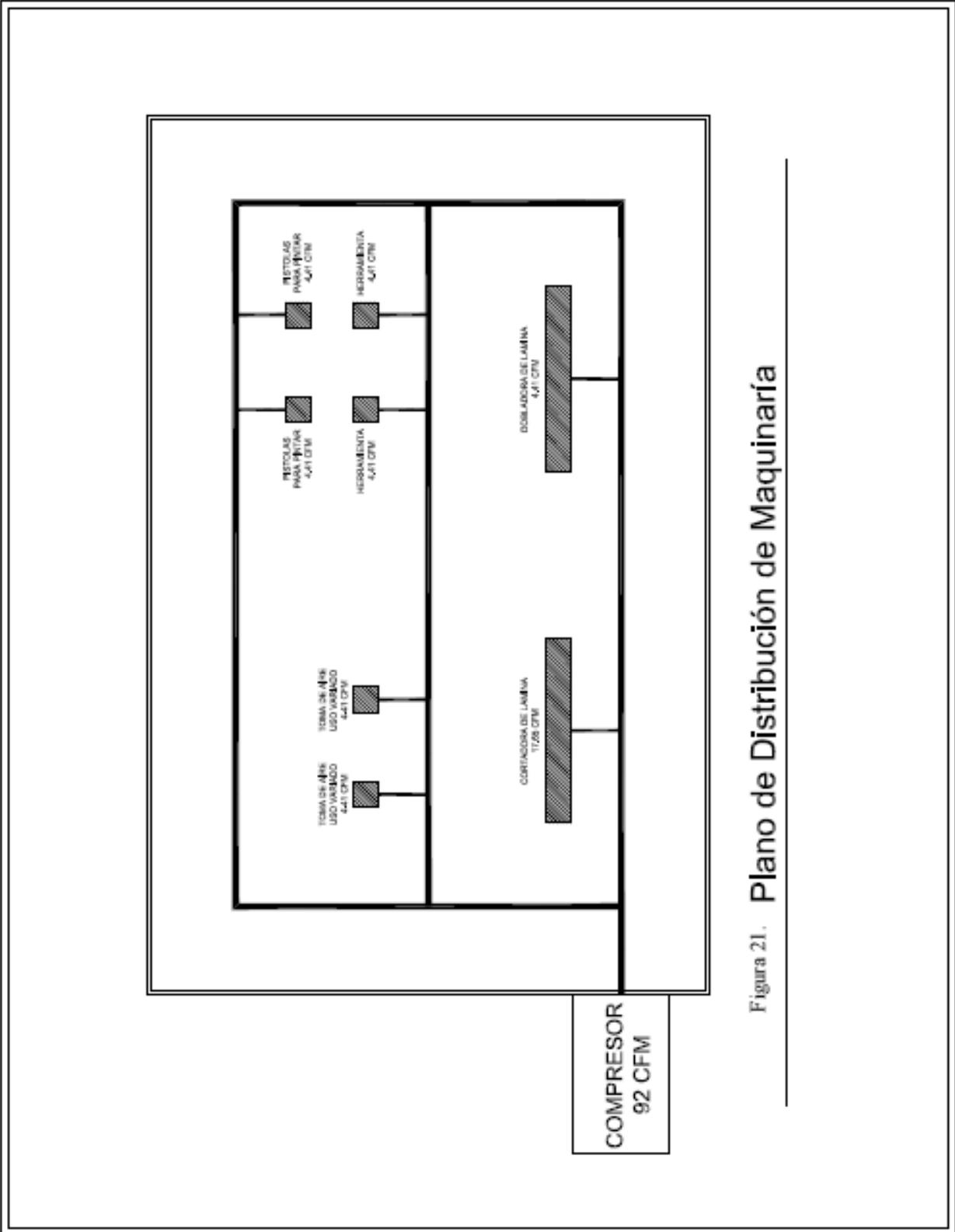


Figura 21. Plano de Distribución de Maquinaria

En cuanto al compresor se refiere este está totalmente descuidado sin que se le practique una rutina de mantenimiento adecuada, siendo aplicado solamente el mantenimiento correctivo, haciendo que la planta se quede sin aire comprimido cuando esto sucede.

1.5.2 Efectos causados en el proceso por las deficiencias de aire comprimido

Por la mala distribución que se tiene en la red de aire comprimido de la planta de producción, las deficiencias que se encontraron son las siguientes:

- Baja calidad del producto terminado, debido a manchas, suciedad y depósitos de aire en la pintura, debido a la humedad del sistema de aire comprimido.
- Baja producción debido a reprocesos.
- Baja eficiencia en la maquinaria cortadora de lámina.
- Costos altos de producción
- Consumo elevado de energía eléctrica, por el trabajo excesivo de las unidades compresoras.

2 FASE TÉCNICO-PROFESIONAL

2.1 Información de diseño de la red de aire comprimido en la planta de producción

Todo lo referente a las características propias de la planta será tocado en los siguientes apartados ya que un nuevo diseño se debe adaptar a las características físicas y económicas con se cuenten y así satisfacer las necesidades que se tengan.

2.1.1 Presión máxima en el sistema

Toda la maquinaria que se encuentra en la planta de producción trabaja en un rango de presión variable pero en la red principal se utiliza una presión máxima de 100 psi. (6.8 bar), para cuestiones de cálculo se tomará la presión más elevada. Estos datos de presión fueron obtenidos del manual del fabricante de cada máquina de la planta.

2.1.2 Flujo máximo en el sistema

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

No.	Máquina	Caudal (cfm)
1.	Cortadora de lámina	17.65

2.	Dobladora de lámina	4.41
3.	Herramienta 1	4.41
4.	Herramienta 2	4.41
5.	Pistola para pintar 1	4.41
6.	Pistola para pintar 2	4.41
7.	Toma de aire 1	4.41
8.	Toma de aire 2	4.41
		48.52 cfm.

El flujo máximo de aire comprimido que necesita toda la maquinaria de la planta es de 48.52 cfm.

2.1.3 Longitudes equivalentes para accesorios

La red de aire comprimido debe estar construida con tubería de hierro galvanizado, la que cuenta con accesorios y válvulas para la distribución de este fluido a las diferentes máquinas. A lo largo de la red de aire comprimido, se produce pérdida por fricción, por cambios bruscos de diámetro, por valvulería y por distancia; la tabla I muestra diferentes tipos de accesorios y válvulas, según el diámetro de éstos y su pérdida equivalente en metros de longitud. Estos datos pueden ser utilizados en el nuevo diseño de la red de aire comprimido de la planta de producción de Rest-O-Pan S.A.

2.1.4 Volumen de almacenaje

La planta de producción cuenta con 1 compresor de 30 hp que produce 92 cfm (pies cúbicos por minuto de aire); estos datos de producción de cfm del compresor están calculados respecto a la altura a la que se encuentran respecto al nivel del mar, ya que dependiendo de ésta, la densidad del aire aumentará o disminuirá, por lo que se requiere de mayor cantidad de aire libre para producir aire comprimido

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

Por lo que si se tiene un compresor que produce 92 cfm de aire comprimido a una presión de trabajo de 100 psi y una altura de 1,500 metros (5,000 pies) sobre el nivel del mar que es la altura promedio de la ciudad capital de Guatemala, según la tabla IV a esta altura la presión barométrica, sería de 12.22 psi, se tiene a continuación el siguiente cálculo de aire libre que se necesita para producir 92 cfm de aire comprimido:

$$X (12.22 / (100 + 12.22)) = 92 \text{ cfm}$$

$$X = 844.86 \text{ p}^3/\text{min de aire libre}$$

Entonces en nuestra sala de compresores, necesitaremos que existan por lo menos 844.86 p³/min de aire libre para poder tener los 92 cfm que produce el compresor.

Tabla IV Presión barométrica

<i>ALTURA (PIES)</i>	<i>Psi.</i>	<i>"Hg</i>
1000	14.7	29.92
2000	14.16	28.86
3000	13.66	27.82
4000	13.16	26.81
5000	12.22	24.89
6000	11.77	23.98
7000	11.33	23.09
8000	10.91	22.22
9000	10.5	21.38
10000	10.1	20.58
11000	9.71	19.75
12000	9.34	19.03
13000	8.97	18.29
14000	8.62	17.57
15000	8.28	16.88

2.1.5 Longitud total de la localización de la maquinaria en la planta de producción

Esta distancia será igual a la longitud total de tubería, que se debe colocar para la alimentación de todas las máquinas y tomas de aire comprimido.

Este dato fue obtenido del plano de ubicación de las máquinas y tomas de aire en la planta de producción, ubicado en el anexo 1, con el nuevo diseño de tubería necesario; la longitud total es de 260 metros.

2.1.6 Cálculo de la unidad secadora de aire

Como actualmente no se cuenta con una máquina secadora en la planta de producción, se hace necesario proponer la compra de una unidad secadora, como se expuso anteriormente por tratarse de un cfm pequeño y para uso de herramientas neumáticas en el interior, se recomienda un secador frigorífico.

Para determinar la capacidad del secador, se tiene que determinar el “Caudal de aire corregido”, que es la capacidad de aire que entrega una secadora para su uso final. La cantidad de agua contenida en el aire comprimido en distintas condiciones de operación no es la misma. Los factores más importantes que influyen son: temperatura ambiente, presión de compresión, temperatura después de la compresión (que es la de la entrada al secador) y la temperatura de enfriamiento que se fija en el secador.

Tomando como referencia una condición definida como estándar la cual es: 25 °C (Temperatura ambiente); 7bar (Presión de compresión) 35 °C (Temperatura después de la compresión) 3 °C (Temperatura de enfriamiento), cualquier variación de las características del proceso particular se puede llevar a aire a las "condiciones estándar" indicadas o de "aire corregido" de acuerdo a los coeficientes de la tabla que sigue:

Tabla V Factores multiplicadores para cálculo de secadoras

Factores multiplicadores F_i							
Presión de entrada (bar)	4	5	7	8	10	12	14
F_p	0.77	0.85	1	1.06	1.15	1.21	1.25
Temperatura ambiente (°C)	25	30	35	40	45		
F_a	1	0.98	0.95	0.90	0.8		
Temperatura de entrada (°C)	30	35	40	45	50	55	
F_i	1.2	1	0.85	0.75	0.61	0.49	
Temperatura de enfriamiento (°C)	3	5	7	10			
F_r	1	1.09	1.18	1.38			

Fuente: Instruction Manual. Ingersoll-Rand, Air Compresor, Refrigerated air Dryers F series.
Pág. 8

Para nuestro caso en particular se tienen las siguientes condiciones de trabajo, entonces el cálculo de capacidad de la unidad secadora será el siguiente:

Tengo un compresor de caudal nominal (el que indica el fabricante) de 2,600 l/min (92 cfm), opera en un ambiente de 25 °C y después de la compresión a 7 bar, la temperatura asciende a 35 °C. La temperatura de secado está fijada en 5 °C.

Caudal nominal = 2600 l/min

$F_p|7\text{bar}=1$

$F_a|25\text{C}=1$

$F_i|35\text{C}=1$

$F_r|5\text{C}=1.09$

Caudal corregido = $2600 \text{ l/min} \times 1 \times 1 \times 1 \times 1.09 = 2,830 \text{ l/min}$ (100 cfm)

La capacidad viene dada por la cantidad de aire a utilizar (cfm), teniendo en cuenta que se tiene un cfm máximo de 92 (la capacidad del compresor) la secadora deberá tener una capacidad de 100 scfm (pie cubico estándar por minuto).

2.2 Rediseño de la red de aire comprimido en planta de producción

Tomando como base los aspectos antes citados, ahora se tomaran los conocimientos técnicos y prácticos para poder satisfacer de buena forma las necesidades planteadas y teniendo en cuenta las limitaciones propias de esta situación; se diseñara una nueva red de aire comprimido para esta planta de producción.

2.2.1 Cálculo de tubería para el rediseño

La longitud total de tubería que se debe utilizar para el rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción fue medida del plano de localización de la maquinaria y tomas de aire, ubicado en el anexo 1, por lo que se tienen los siguientes datos en la tabla V.

Tabla VI Diametros y longitudes de tubería total del rediseño

<i>DIAMETRO (Plg)</i>	<i>LONGITUD DE TUBERIA (metros)</i>
1/2"	24
1-1/4"	240
<i>Longitud total</i>	<i>264</i>

2.2.2 Cálculo de diámetros de tubería para el rediseño

Para el cálculo de los diferentes diámetros de tubería que se deben tener en la red de aire comprimido, se debe saber qué caudal de aire se necesita transportar, en cada uno de los diferentes circuitos que componen dicha red, por lo que se tiene el siguiente diagrama:

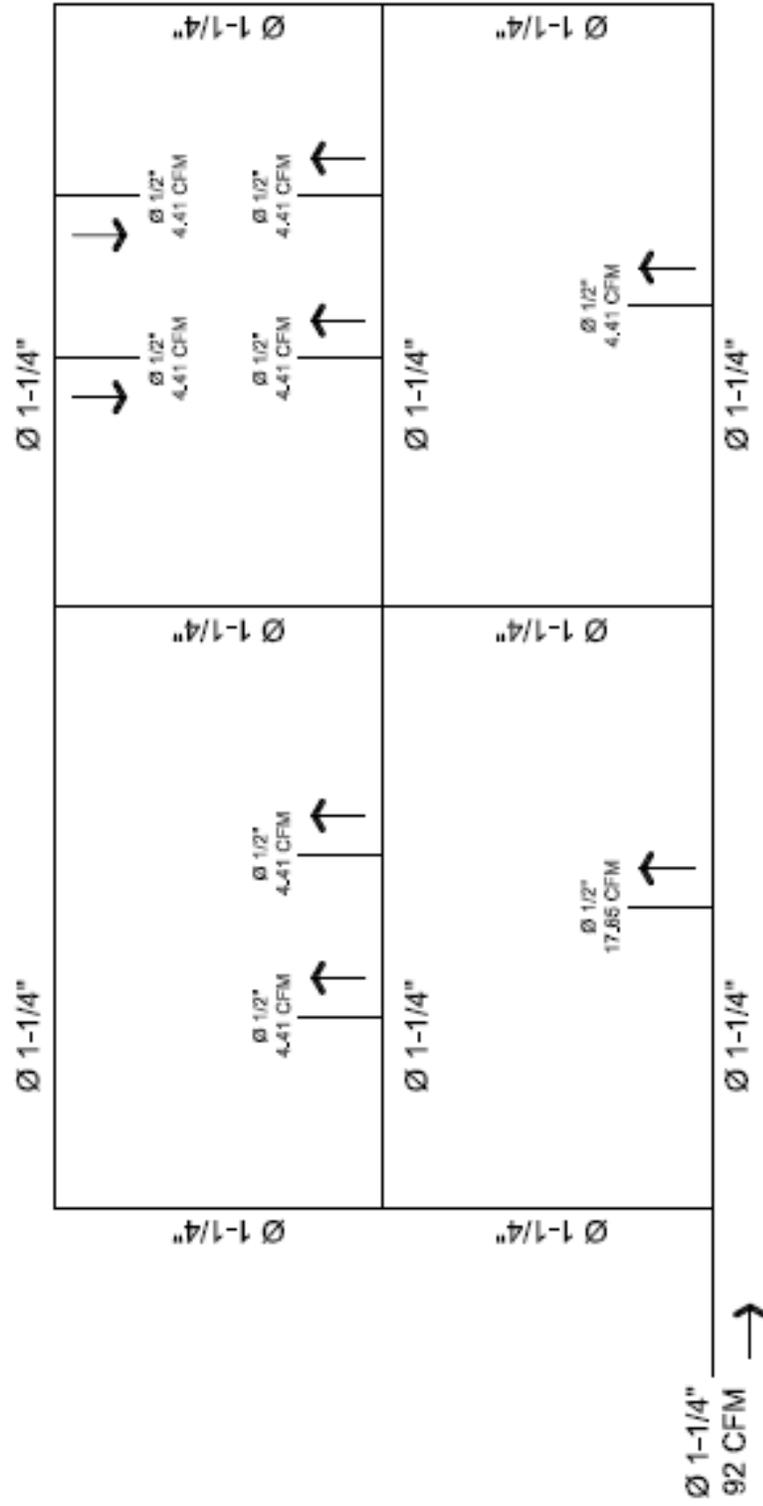


Figura 21. Diagrama Unifilar Circuito de Aire Comprimido

El volumen de aire comprimido total que necesitan las máquinas y las tomas de aire en un momento determinado es de 1.4 metros cúbicos por minuto (48.52 cfm), se calculará la tubería principal según la tabla II. Se necesitan 48.52 cfm a una presión de 100 psi con una caída de presión de 5% por cada 100 pies de tubería, nos damos cuenta que el diámetro de la tubería a usar sería de $\frac{3}{4}$ " pero para efectos prácticos la elección será de un diámetro de $1\frac{1}{4}$ ", el porqué de esta elección, se debe a que la red actual posee tubería de $1\frac{1}{4}$ " y no posee tubería de $\frac{3}{4}$ " entonces no es problema reutilizar parte de materiales de la red actual para armar la nueva red. Los diámetros de los circuitos se eligieron más grandes para futuras ampliaciones, pérdidas por accesorios y distancias. Se necesitaran 240 m de tubería (40 tubos de 6 m)

Para los ramales que se conducen a las máquinas se usara tubería galvanizada de un diámetro de $\frac{1}{2}$ " reducidas a $\frac{1}{4}$ " antes de la unidad de mantenimiento. Se necesitaran 24 m de tubería de $\frac{1}{2}$ " (4 tubos de 6 m).

2.2.3 Cálculo de valvulería y accesorios

Los datos que a continuación se presentan fueron obtenidos del plano de rediseño de la red de aire comprimido de la planta de producción, ubicado en el anexo, según la colocación física de la maquinaria.

- Para tubería de $1\frac{1}{4}$ " de diámetro las válvulas y accesorios, que se deben utilizar:
 - 6 codos de 90 grados.
 - 14 tees
 - 3 cruces
 - 3 tapones hembra
 - 8 reductores de $1\frac{1}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ "
 - 4 válvulas de bola

- Para tubería de $\frac{1}{2}$ " de diámetro las válvulas y accesorios, que se deben de utilizar son:
 - 24 codos de $\frac{1}{2}$ "
 - 8 válvulas de bola
 - 8 unidades de mantenimiento
 - 8 reductores de $\frac{1}{2}$ " a $\frac{1}{4}$ "
 - 8 fittings de $\frac{1}{4}$ "

2.2.4 Cálculo de soportes para tubería, según distancia

La tubería de aire comprimido debe soportarse a intervalos adecuados, para evitar flexiones que acumularían condensados, que provocaría esto la reducción de drenado en los puntos más bajos. La distancia que debe tener cada soporte va depender en algunos casos de las condiciones físicas del edificio; en la planta de producción la distancia entre columnas de las instalaciones es de 3.5 metros, por lo que actualmente se tienen los soportes horizontales para la tubería de aire comprimido a esta distancia. A continuación, se presenta la Tabla VII, en la cual se dan las distancias máximas entre soportes horizontales, para diferentes diámetros de tubería, basada para condiciones ideales de montaje, basados en esta tabla se recomienda colocar soportes, por lo menos a cada 2.5 metros, para evitar problemas, sin embargo, debido a que las condiciones físicas de la planta esto no es posible cumplir, como se dijo los soportes horizontales están colocados a cada 3.5 m.

Los soportes verticales según la tabla deben de colocarse a cada 1.25 m para tubería de $\frac{1}{2}$ ", estos están colocados de esta manera.

Tabla VII Longitudes de soportes de tubería

DIAMETRO DE TUBERIA	VERTICAL (Metro)	HORIZONTAL (Metro)
1/4"	1.25	1
1/2"	1.75	1.25
3/4"	2.7	1.75
1-1/4"	3	2.5
1-1/2"	3	2.5
2"	3.5	2.75
3"	3.5	3
4"	3.5	3
6"	4.25	3.5
10"	5.18	4.25
12"	5.48	4.87

2.2.5 Cálculo del depósito de almacenamiento de aire comprimido

Se tiene un compresor de 30hp, el cual produce un caudal de aire en pies cúbicos por minuto (cfm) de aire comprimido de 92 (2.5m³/min).

El compresor actualmente tiene un depósito con capacidad de 1.0 m³, el cual es el recomendado para este tipo, según Tabla III.

2.2.6 Cálculo de la capacidad de compresor que se va a utilizar

Las máquinas que se encuentran en la planta de producción tienen un consumo de aire comprimido de 45.82 cfm (1.4 m³/min.); a este dato le sumaremos el 5 % del consumo total por pérdidas por distancia, y un 10 % por pérdidas de accesorios y valvulería; éste % de pérdidas fue utilizado para cuestiones de cálculo, pero lo

recomendado que se debe tener en pérdidas en una red de aire comprimido es del 5%. El volumen total de aire que se va a utilizar es de 52.7 cfm, que se cubre perfectamente con el compresor con el que cuenta la empresa.

2.3 Mantenimiento propuesto al sistema

El mantenimiento es una parte fundamental de la operación de cualquier planta de producción ya que con un buen mantenimiento se tienen los equipos operando de una manera satisfactoria en cuanto a su funcionamiento se refiere, por lo que se propone un plan de mantenimiento a la nueva red de aire comprimido para que sea operada en óptimas condiciones por mucho tiempo.

2.3.1 Mantenimiento de compresores

El compresor que se utiliza para la producción de aire comprimido en la planta de producción debe tener un mantenimiento de tipo preventivo, para asegurar el funcionamiento continuo de este, por lo que a continuación se presenta el programa de mantenimiento (Tabla VIII), el cual especifica todo lo recomendado para mantener el compresor en óptimas condiciones de operación. Se deben dar servicios a los intervalos indicados o a las horas marcadas, lo que primero ocurra.

Antes de empezar una labor de mantenimiento al compresor y red de aire comprimido se debe tener presente lo siguiente:

- Emplear herramientas adecuadas
- Tener a la mano los repuestos que han sido recomendados
- Leer las instrucciones de seguridad
- Leer el manual de mantenimiento de cada compresor
- Personal capacitado

Tabla VIII Mantenimiento del compresor

ACCION	PARTE	HORAS DE OPERACION	D I A R I O	1 SEMANA	1 MES	3 MESES	6 MESES	1 AÑO	2 AÑOS
Inspección	Nivel de refrigerante (aceite)	8	X						
Inspección	Temperatura descarga (aire)	8	X						
Inspección	Dif. elemento separador	8	X						
Inspección	Diferencial filtro de aire	8	X						
Inspección	Diferencial filtro de aceite	8	X						
Reemplazo	Filtro refrigerante *	150		X					
Chequeo	Censor de temperatura *	1000			X				
Reemplazo	Filtro refrigerante *	2000					X		
Limpie	Orificio de barrido	4000						X	
Limpie	Núcleo de refrigerador **	4000					X		
Reemplazo	Filtro de aire *	4000						X	
Reemplazo	Elemento separador *	4000						X	
Reemplazo	Refrigerante (aceite) *	8000							X
Inspección	Contactos arrancador	8000				X		X	

* En ambientes de operación y en donde el filtro de aire de admisión se cambia a los intervalos prescritos arriba cuando el ambiente es demasiado sucio, hay que cambiar los elementos del separador. Los filtros y el refrigerante más frecuente.

** Limpie el núcleo del refrigerador si la temperatura del aire es excesiva o si el paro de la unidad ocurre por alta temperatura.

2.3.2 Mantenimiento de tuberías

La tubería que conduce el aire comprimido debe estar libre de fugas de partículas de polvo, humedad y aceite; por eso se debe tener un plan de mantenimiento preventivo para el buen estado de las líneas de distribución de aire. Las fugas de aire comprimido son provocadas por el mal acoplamiento de la tubería, por humedad, por la mala colocación de válvulas y accesorios en la red; las fugas producen un bajo rendimiento en el sistema y pérdidas, las cuales son razonables hasta un 5% del compresor. Para la eliminación de fugas, deben revisarse todos los acoplamientos de tubería, válvulas y accesorios, por lo menos cada 3 meses; en la Tabla VIII, se pueden observar las pérdidas

por fugas en relación con el diámetro del agujero y la potencia necesaria para compensarlos a una presión de 100 psig.

Para la eliminación de partículas extrañas, se debe limpiar el tubo en su interior, antes de ser conectado a la red de aire comprimido, ya que de lo contrario podría haber desperfectos en el sistema. El aire aspirado por un compresor contiene siempre una cierta cantidad de humedad; esta cantidad depende de la temperatura del aire y de la humedad relativa. El aire comprimido debe pasar a través de un secador, para eliminar la humedad, ya que de lo contrario podría ocasionar daños a las máquinas y afectar los procesos de trabajo. El aire seco disminuye la corrosión que causa caídas de presión y fugas.

Tabla VIII Pérdidas por fuga

DIÁMETRO DE AGUJERO		FUGA AIRE 100 psig	POTENCIA REQUERIDA	
<i>mm.</i>	<i>plg.</i>	<i>p3/m</i>	<i>Kw.</i>	<i>Hp.</i>
1	1/64"	0.41	0.06	0.08
	1/32"	1.62	0.23	0.31
		2.58	0.37	0.5
	1/16"	6.5	0.97	1.3
2		10.4	1.5	2
3		23.2	3.36	4.5
	1/8"	26	3.88	5.2
5		66	9.85	13
	1/4"	104	15	20
	3/8"	234	64	46
10		258	37	50
	1/2"	416	60	81

2.3.3 Mantenimiento de válvulas y accesorios

Las válvulas y accesorios que se tienen en la red de aire comprimido de la Planta de producción deben contar con una revisión diaria, para que no se tengan fugas en las

uniones de los accesorios y mal funcionamiento de las válvulas, y así evitar las pérdidas por fuga y un mal abastecimiento de aire, debido a una válvula dañada, ya que esto lleva a altos costos de producción.

Es por esto, que se deben revisar diariamente las válvulas, accesorios y unidades de mantenimiento de toda la red de aire comprimido, para estar seguros que se encuentran en perfecto estado.

2.3.4 Medidas de seguridad

Con el fin de prevenir algún tipo de accidente en los distintos trabajos, ya sea en reparación, montaje y desmontaje de las líneas de aire comprimido, compresores y secadores de aire; a continuación se presentan algunas reglas que pueden ayudar a prevenirlos:

- Leer cuidadosamente las instrucciones contenidas en el manual del fabricante, tanto para compresores como para secadores.
- Antes de proceder a efectuar cualquier tipo de trabajo en los compresores, asegúrese que la energía eléctrica haya sido debidamente cortada y que el interruptor de corriente haya sido desconectado.
- Liberar perfectamente toda la presión del compresor y aíse la unidad de cualquier otra fuente de aire a presión.
- Utilice guantes, chaleco y mascarilla a la hora de hacer cualquier trabajo con soldadura eléctrica y autógena.

- El mantenimiento lo debe hacer el personal que esté debidamente capacitado, y para ello debe contar con las herramientas adecuadas para este fin.
- Mantener en distintos puntos de la planta extintores.

CONCLUSIONES

1. La planta de producción de la Fábrica Rest-O-Pan S.A. tiene un circuito de aire comprimido mal calculado, ya que se tienen diámetros inadecuados, grandes cantidades de accesorios, cambios bruscos de dirección en la red y válvulas mal dimensionadas.
2. El nuevo circuito de aire comprimido es del tipo cerrado.
3. Actualmente no se cuenta con una secadora de aire, por lo toda la humedad del compresor pasa directamente al sistema.
4. El nuevo diseño de la red de aire comprimido tiene menor cantidad de válvulas, accesorios y tubería para la distribución del fluido.
5. En el rediseño se utilizaron sólo los filtros de las unidades de mantenimiento, ubicadas en cada toma de aire comprimido y un filtro después del depósito principal de aire para eliminar la humedad, esto por cuestiones económicas, ya que no se cuenta con una secadora.
6. Cada sección de tubería del rediseño de la red de aire comprimido está calculada para una determinada máquina, según la presión de trabajo (generalmente de 80 psi) y el caudal de aire necesario (el cual varía dependiendo de cada máquina o toma de aire).
7. En el rediseño de la red de aire comprimido, se contempló una caída de presión con un rango de un 5% por cada 100 pies de longitud de tubería, con lo que se espera tener una presión y un volumen más constante, para la alimentación de la maquinaria.

8. Con la capacitación de mecánicos y operadores, se podrá realizar un mejor programa de mantenimiento de los compresores y accesorios de la red de aire comprimido.
9. Las medidas de seguridad que se presentan en este trabajo deben cumplirse en su totalidad, para evitar algún tipo de accidente.
10. La ventaja principal de la nueva red de aire comprimido consiste en la supresión a un mínimo de la humedad y condensados existentes en la tubería, lo cual redundo en una reducción casi a cero de reprocesos en la producción, como por ejemplo ya no se necesita pintar 2 veces un producto debido a que aparecían burbujas de condensado o humedad, lo cual dañaba la pintura, esto se refleja en un menor costo por unidad producida.

RECOMENDACIONES

A la Gerencia de Producción:

1. Adquirir una secadora en cuanto la situación económica lo permita, para que la nueva red de aire comprimido funcione a un 100%; ya que permitirá una mejor eliminación de la humedad del aire comprimido y disminuirá la corrosión en la tubería.
2. Capacitar al nuevo personal en los distintos trabajos de mantenimiento que se van a realizar en el compresor y la red de aire comprimido, para obtener un rendimiento óptimo en las máquinas y el sistema.
3. Realizar un estudio cada vez que se necesite aire comprimido en una área diferente a la planificada, para obtener la presión de trabajo y el caudal de cada máquina nueva que se va a alimentar, y así determinar el diámetro de la tubería que se utilizará; ya sea en una línea general o en un ramal de alimentación, con lo que se evitarán pérdidas de presión que conlleva un mal diseño.

Al Ingeniero de planta o de mantenimiento:

1. Seguir el plan de mantenimiento de las unidades compresoras, para mantener una buena eficiencia en el sistema de aire comprimido.

2. Establecer un programa de purgas diarias para depósitos y distintas unidades de mantenimiento colocadas en la red, para la evacuación del condensado.

3. Asegurarse que cada máquina o toma de aire cuente con una unidad de mantenimiento con regulador y filtro; esto servirá para regular la presión de trabajo y tener aire libre de suciedad. La unidad de mantenimiento se instalara inmediatamente antes de la entrada de aire a la maquina o herramienta, esta será del tamaño y capacidad que necesite la máquina, por ejemplo, para un caudal de 17.61 cfm y una presión de 80 psi se tiene que tener una unidad de mantenimiento que soporte esta capacidad y presión de acuerdo a los catálogos y hojas técnicas de los fabricantes de este tipo de accesorios.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 BAUMEISTER T. y otros. Manual del ingeniero Mecánico.
8ª. Edición México: Editorial McGraw Hill. 1987
2000 pp.
- 2 ELONKA Steve. Operación de plantas industriales.
2ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1988.
683 pp.
- 3 GRENE Richard W. Compresores, selección uso y mantenimiento.
3ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1989
450 pp.
- 4 JUÁREZ Pizza Pedro Antonio. Diseño de sistemas neumáticos.
Tesis Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería, 1979, 118 pp.
- 5 MANUAL de operaciones e instrucciones de compresores,
Ingersoll- Rand, 1990. 125 pp.
- 6 MANUAL de productos para la conducción de aire comprimido,
Norgren, Littleton, CO. USA, 1997. 97 pp.
- 7 MANUAL de fundamentos de aire comprimido,
Atlas Copco. 160 pp.

APÉNDICE

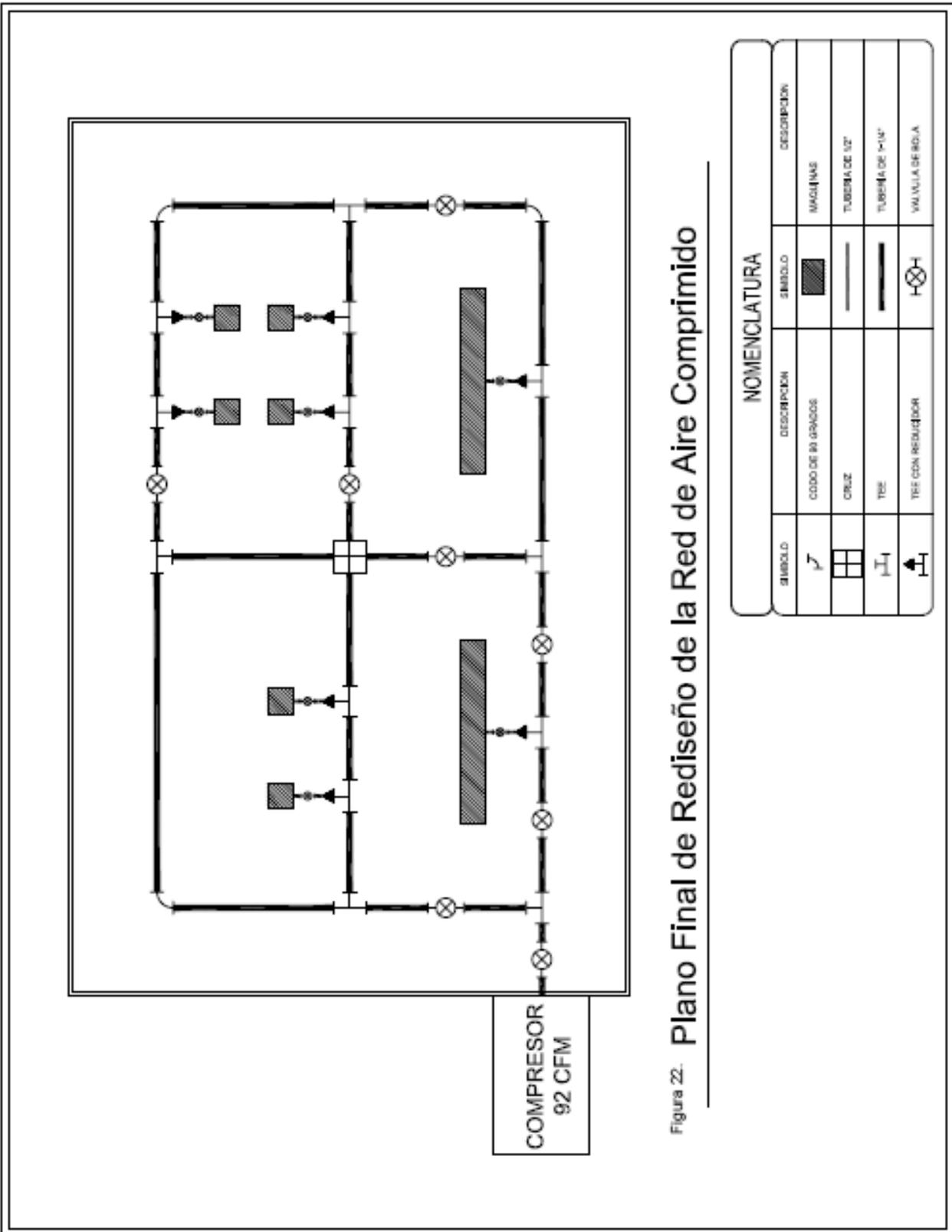


Figura 22. Plano Final de Rediseño de la Red de Aire Comprimido

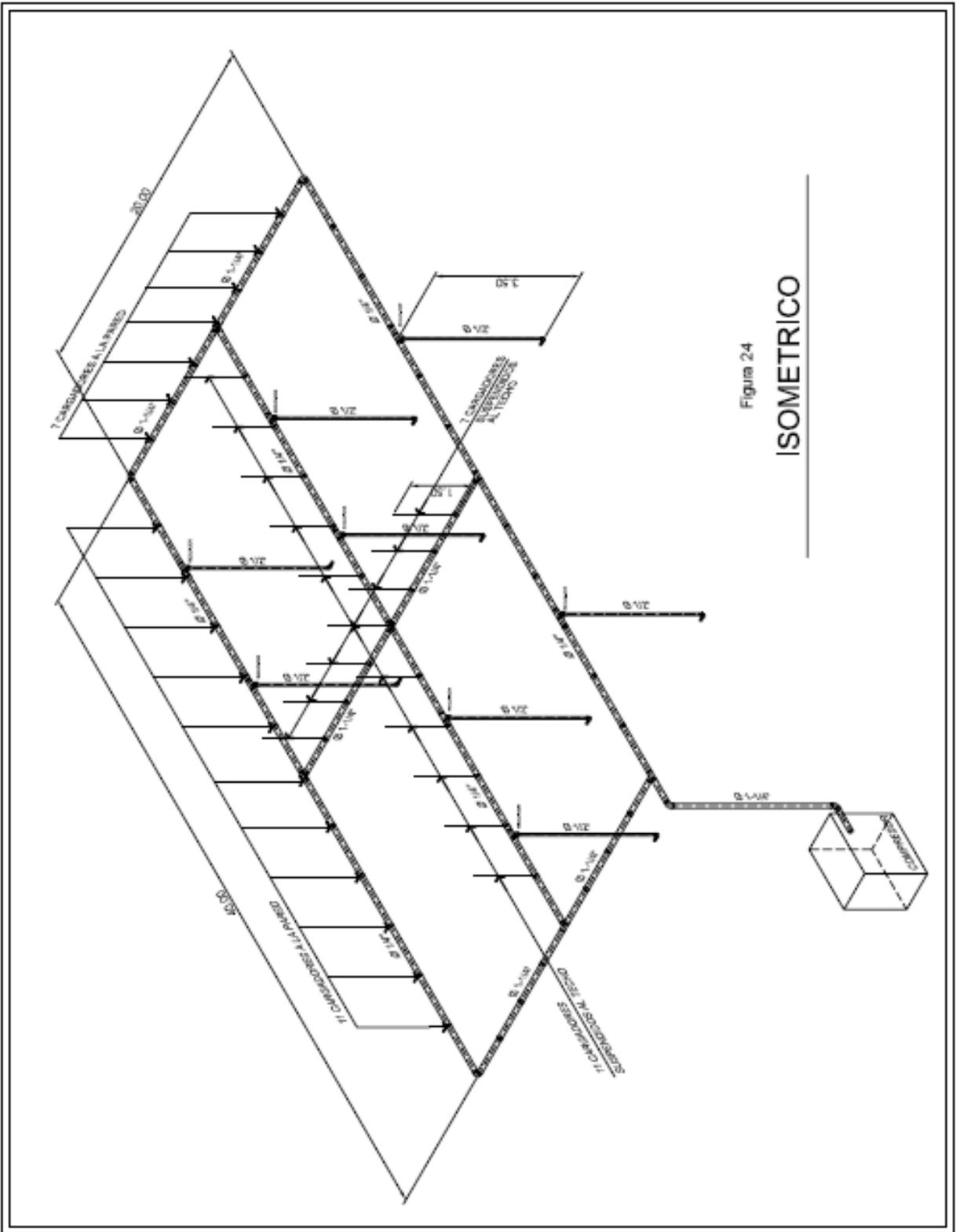
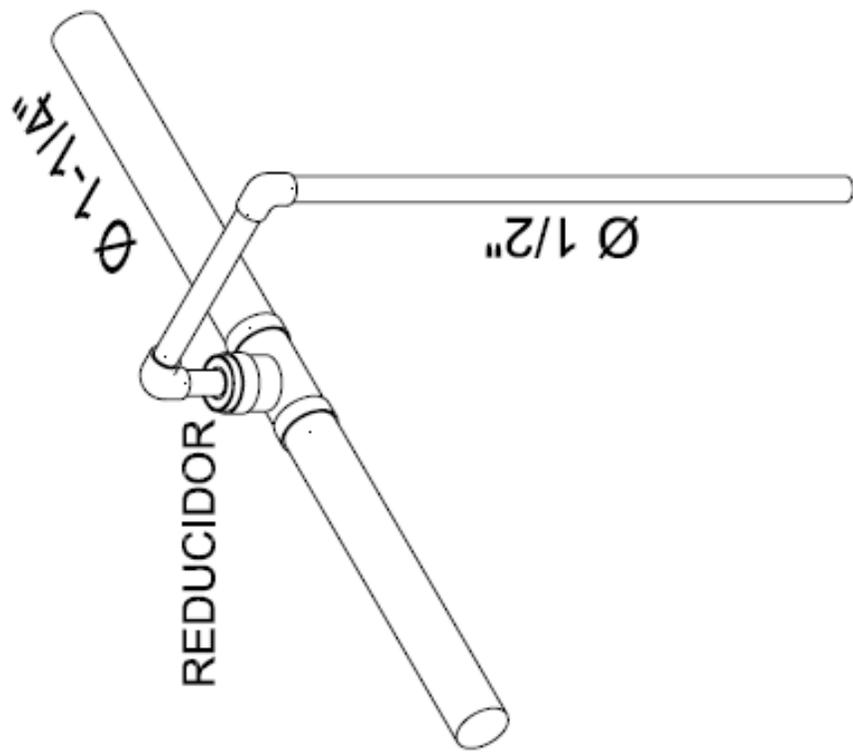


Figura 24
ISOMETRICO



Bajada típica hacia toma de aire
