



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

**DISEÑO DE LA LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO PARA
HERRAMIENTA NEUMÁTICA EN LA EMPRESA
TURBOSERVICIOS DE C.A., S.A.**

Ervin Joel Rodríguez Gutierrez

Asesorado por Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda

Guatemala, octubre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE LA LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO PARA
HERRAMIENTA NEUMÁTICA EN LA EMPRESA
TURBOSERVICIOS DE C.A., S.A**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ERVIN JOEL RODRÍGUEZ GUTIERREZ

ASESORADO POR ING. EDWIN ESTUARDO SARCEÑO ZEPEDA
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

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

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR	Ing. Edwin Estuardo Sarceño Zepeda
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Arrivillaga Ramazzini
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE LA LÍNEA DE AIRE COMPRIMIDO PARA HERRAMIENTA NEUMÁTICA EN LA EMPRESA TURBOSERVICIOS DE C.A., S.A.

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica con fecha 9 de septiembre del año 2004.

ERVIN JOEL RODRÍGUEZ GUTIERREZ

DEDICATORIA A:

DIOS Por ser un guía en cada instante de mi vida y proyectar su amor a través de quienes me rodean.

MIS PADRES Efraín Rodríguez López
Justa Gutierrez Castillo

MIS TIOS Florencio Gutierrez, Baudilio Gutierrez, Ángel Gutierrez, Adrián Gutierrez, Manuel Gutierrez, Cruz Gutierrez, Marta Recinos, Griselda Ochoa, Carmela Rodríguez, Esmirna Ramírez.

MIS PRIMOS
En especial a: Oscar Estuardo, Ángel Gustavo y Walker Guillermo

MIS AMIGOS
En especial a: Nancy De León
Roberto Briones
Walter Atz

AGRADECIMIENTOS A:

DIOS: Por darme la vida, unos padres estupendos y una familia maravillosa.

MIS PADRES: Por su amor, apoyo incondicional y confianza, por estar en los momentos difíciles, siendo siempre una luz en las tinieblas.

MIS FAMILIARES: Por su apoyo y confianza, manifestados a lo largo de mis estudios.

USAC Por acogerme en sus aulas y permitirme desarrollarme como una persona de bien.

FACULTAD DE INGENIERÍA Por ser mi segundo hogar, y darme las armas necesarias para ser un profesional de éxito.

TURBOSERVICIOS DE C.A.S.A Por confiar y apoyar este proyecto.

JOSÉ LUIS REYES Por la confianza depositada en este proyecto y en mi persona. Por su apoyo el cual fue muy importante.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. FASE DE INVESTIGACION

1.1 Descripción de la empresa	1
1.2 Elaboración de fichas técnicas de la herramienta neumática a utilizar	2
1.3 Presión de trabajo del equipo neumático	3
1.4 Caudal del equipo neumático	3
1.5 Compresores	4
1.5.1 Compresores reciprocantes	6
1.5.2 Compresor de tornillo rotativo	8
1.6 Tuberías	9
1.6.1 Normas para tubería	9
1.6.2 Clases de tubería	11
1.6.2.1 Tuberías rígidas	11
1.6.2.2 Tuberías semi – rígidas	11
1.6.2.3 Tuberías flexibles	12
1.6.3 Longitud de tubería	12
1.6.4 Diámetro de tubería	14
1.6.4.1 Pérdidas de presión por fricción en la tubería	17
1.6.4.2 Tabla de factor de pérdida de presión	18
1.6.5 Instalación de tubería	18
1.6.6 Uniones de tuberías	21

1.6.6.1	Uniones roscadas	21
1.6.6.2	Uniones por bridas	22
1.6.7	Tabla de propiedades de tubo comercial de acero	23
1.6.8	Soporte de tubería	24
1.7	Accesorios	26
1.7.1	Tipos de accesorios	27
1.7.1.1	Codos	27
1.7.1.2	Tees	27
1.7.1.3	Niples	28
1.7.1.4	Cruces	28
1.7.1.5	Reducciones	28
1.7.1.6	Adaptadores	29
1.7.1.7	Niples	29
1.7.1.8	Uniones	29
1.7.1.9	Acoples rápidos	30
1.7.1.10	Unidad de mantenimiento	30
1.7.1.10.1	Filtro de aire comprimido con regulador de presión	33
1.7.1.10.2	Regulador de presión	34
1.7.1.10.3	Lubricador de aire comprimido	36
1.7.1.11	Manómetros	38
1.7.2	Pérdidas ocasionadas por accesorios	39
1.7.3	Instalación de accesorios	41
1.7.4	Cálculo de caudal teórico	41
1.7.5	Cálculo de presión teórica	42

2	FASE TÉCNICO-PROFESIONAL	
2.1	Selección del circuito de línea de aire a utilizar	43
2.1.1	Red abierta	44
2.1.2	Red cerrada	45
2.1.3	Red interconectada	46
2.1.4	Definición del circuito de la línea de aire comprimido	47
2.2	Realización de planos de líneas de aire comprimido	47
2.3	Selección de tubería a utilizar	54
2.4	Selección de accesorios a utilizar	55
2.5	Selección de soportes para tubería	57
2.6	Cálculo de la demanda de presión y caudal	61
2.7	Cálculo de la longitud de la tubería	62
2.8	Cálculo de pérdidas	63
2.9	Cálculo para el dimensionamiento de tuberías y accesorios	64
2.10	Selección del compresor a utilizar	75
	CONCLUSIONES	77
	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFÍA	79

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esquema de la clasificación de los compresores	5
2	Compresor recíprocante	7
3	Admisión y descarga de compresor de tornillo	8
4	Tubería flexible	15
5	Pendiente en una red de aire comprimido	20
6	Uniones roscadas	21
7	Uniones por bridas	22
8	Soportes de tubería	25
9	Codo	27
10	Te	27
11	Niple	28
12	Reducciones	29
13	Uniones	29
14	Base de enchufe y racor de enchufe rápido	30
15	Unidad de mantenimiento	31
16	Simbología de la unidad de mantenimiento	32
17	Esquema de filtro de aire comprimido	33
18	Regulador de presión con orificio de escape.	35
19	Principio de venturi	36
20	Lubricador de aire comprimido	37
21	Manómetro <i>Bourdon</i>	38
22	Posibles configuraciones de las redes de aire	43
23	Configuración abierta y su inclinación	44
24	Dirección del flujo en una red cerrada para una demanda	45
25	Configuración cerrada y su ausencia de inclinación	46
26	Patio de compresores	49
27	Plano de línea principal y secundaria	50

28	Detalle de línea principal, tubería subterránea	51
29	Detalle de línea principal, tubería sobre portón posterior	52
30	Planos de línea de servicios	53
31	Soporte de tubería en columna metálica	59
32	Soporte de tubería en columna de concreto	60

ÍNDICE DE TABLAS

I	Ficha técnica de herramienta neumática	2
II	Ficha técnica de herramienta neumática	2
III	Presión de trabajo de equipo neumático	3
IV	Consumo de aire de equipo neumático	4
V	Valor de accesorios en codos equivalentes	13
VI	Factores (F) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.	16
VII	Factores de pérdidas por fricción en accesorios.	18
VIII	Propiedades de tubo comercial	23
IX	Longitud de soporte de tuberías	26
X	Pérdidas ocasionadas por accesorios	39
XI	Pérdidas ocasionadas por accesorios en codos	40
XII	Accesorios de la línea principal	56
XIII	Accesorios de la línea secundaria	56
XIV	Accesorios de la línea de distribución	57
XV	Longitud de soporte de tubería	58
XVI	Cálculo de caudal total de la línea de aire	62
XVII	Longitud de las líneas de aire	62
XVIII	Caída de presión de accesorios	64
XIX	Sumatoria de longitudes línea principal con $\varnothing = 1''$	65
XX	Sumatoria de longitudes línea secundaria con $\varnothing = 1''$	66
XXI	Sumatoria de longitudes línea de distribución con $\varnothing = \frac{1}{2}''$	68
XXII	Sumatoria de longitudes línea principal con $\varnothing = 1 \frac{1}{4}''$	70
XXIII	Sumatoria de longitudes línea secundaria con $\varnothing = 1 \frac{1}{4}''$	72
XXIV	Sumatoria de longitudes línea de distribución con $\varnothing = \frac{3}{4}''$	73
XXV	Selección de compresor	76

LISTA DE SÍMBOLOS

Psi.	Libras por pulgada cuadrada
No.	Número
CFM	Pies cúbicos por minuto
Plg.	Pulgadas
m/min	Metros por minuto
Kg/cm ²	Kilogramo por centímetro cuadrado
kPa	Kilo Pascales
kW	Kilo Watts
%	Porcentaje
DE	Diámetro exterior
ΔP	Pérdida de presión
F	Factor de pérdida
R	Factor de tubería
C	Grados centígrados
L _e	Longitud equivalente
DE	Diámetro exterior
Cant.	Cantidad

GLOSARIO

Aire libre	Es el que existe en las condiciones de presión y temperatura reinantes en la aspiración del compresor.
Capacidad	Es la cantidad de aire libre realmente aspirado por un compresor. Generalmente se expresa en m ³ /min.
Bastidor	Armazón de metal que sirve para soporte de otros elementos.
Caudal	Cantidad de líquido que circula, los caudales se expresan en volúmenes por unidad de tiempo, generalmente en metros cúbicos por segundo y son variables en el tiempo y el espacio.
Condensado	Destilado, que es enfriado de su vapor y convertido al estado líquido por medio de un condensador.
Corrosión	Alteración que causa el medio ambiente en un objeto manufacturado.
Elastómero	Material que se caracteriza por una gran elasticidad en un amplio rango de temperaturas.
Ménsula	Elemento que sobresale; sirve para sostener algo, generalmente vigas, arcos.
Polietileno	Es uno de los polímeros más simples y baratos, además de uno de los plásticos más comunes, es químicamente inerte.

- Racores** Acoples rápidos.
- Sand Blasting** Equipo neumático que expulsa chorros de arena a presión, para realizar limpieza.
- Vibraciones** Deformación periódica de un sistema mecánico.

RESUMEN

El presente trabajo es un análisis para el diseño de una línea de aire comprimido para herramienta neumática, constituido en su primera parte por un análisis teórico de los diferentes elementos que constituyen una línea de aire comprimido y las diferentes clasificaciones que pueda tener cada uno de dichos elementos. Se sientan las bases teóricas para el análisis de las pérdidas ocasionadas por los diferentes elementos de una línea de aire y su importancia para el dimensionamiento correcto de la tubería y accesorios.

En el segundo capítulo de este trabajo, se realiza la selección del circuito neumático más adecuado a las necesidades de la planta, la realización de los planos de la línea de aire y se realizan las selecciones de los accesorios a utilizar, el tipo de tubería, el cálculo de la demanda de presión y caudal, así como los cálculos respectivos para el dimensionamiento de la tubería, los accesorios y la selección del compresor.

Al finalizar el análisis de este documento, se podrá establecer los accesorios que se deben utilizar en una línea de aire comprimido, los tipos de compresores que se pueden utilizar, así como también la importancia del dimensionamiento correcto de la tubería y sus accesorios. Todo esto basado en cálculos matemáticos y uso de tablas, las mismas proporcionadas dentro de este documento.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar el diseño adecuado de la línea de aire comprimido, con el fin de obtener el máximo provecho de la generación de aire comprimido.

- **Específicos**

1. La recopilación de una base teórica sólida, para el diseño de una línea de aire comprimido, donde se puedan conocer los elementos que conforman una línea de aire comprimido.

2. La obtención a través de cálculos matemáticos, de las dimensiones más adecuadas para la tubería y accesorios de la línea de aire comprimido.

3. Elaborar planos para la instalación de la línea de aire comprimido, los que dependen de la infraestructura de la planta

INTRODUCCIÓN

Debido al aumento en la utilización de aire comprimido para la puesta en marcha de diferentes herramientas industriales y las diversas utilidades que se le pueden dar al mismo, nace la inquietud del diseño de una línea de aire comprimido adecuada para la activación de dicho equipo.

El correcto diseño de una línea de aire nos lleva a una selección adecuada del compresor, el tamaño y material de las tuberías y accesorios, provocando así una disminución en el consumo energético.

El presente documento se encuentra dividido en dos capítulos, tratándose en el primero, aspectos teóricos, en la clasificación de compresores, tuberías y normas de tuberías, accesorios y el procedimiento para el dimensionamiento de la tubería y sus accesorios.

En la segunda parte, se abarcan temas relacionados directamente con el diseño de la línea de aire comprimido, empezando con la selección del circuito, el cual depende de la arquitectura del edificio, se elaboran los planos de la línea de aire, se selecciona la tubería, accesorios, el tipo de soporte, y se calcula la presión requerida y el caudal. Después de haber seleccionado y calculado los datos antes mencionados se procede al cálculo de la longitud de la tubería, pérdidas accionadas por la tubería y los accesorios y posteriormente se realiza el cálculo del dimensionamiento de accesorios y tubería, para el cual se utiliza el procedimiento, las fórmulas y las tablas presentadas en el capítulo uno.

La elaboración adecuada de los planos de la línea de aire comprimido, son la base para el correcto cálculo de tuberías y accesorios, permitiendo por tanto el cálculo correcto de los diámetros de la tubería, el cálculo del diámetro se realiza a través del uso de fórmulas y tablas, pero con diámetros arbitrarios, hasta que se obtiene una caída de presión que se encuentra dentro del rango aceptable de caída de presión.

1. FASE DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la empresa

La empresa Turboservicios se forma a principios del año 2004 como parte de una alianza estratégica entre las empresas TURBOMAQUINAS S.A. DE C.V. (México) y el GRUPO PERFILES Y ACEROS S.A. (Guatemala), con el objetivo de establecer en Guatemala un taller especializado en reparación de equipo rotativo (turbinas, bombas, generadores, centrífugas), contando con personal altamente capacitado y atendiendo las necesidades de ingenios azucareros, plantas de generación eléctrica, siderúrgicas en Centro América, Colombia y Venezuela.

Sus actividades principales serán el mantenimiento predictivo y correctivo de equipo rotativo.

Dicha empresa está dividida en dos áreas primarias y cinco áreas secundarias, primero el área administrativa, ubicada en oficinas centrales en la zona 4 de Mixco, y segunda el área de taller, cuya Planta esta ubicada en el kilómetro 41.8 antigua carretera Palin - Escuintla, la cual cuenta con una nave industrial de trabajo de 840 metros cuadrados entre oficinas de taller y áreas de taller, un área parqueo y descarga de equipo de 1200 metros cuadrados y un área de expansión de más de 5,000 metros cuadrados.

La empresa Turboservicios de C.A. S.A. cuenta con las áreas de maquinación, soldadura, ensamble y desensamble de equipo, limpieza y balanceo dinámico, en cada área se cuenta con personal con experiencia y capacitado, dotado de las herramientas mecánicas, electrónicas, neumáticas necesarias para la realización del trabajo.

1.2 Elaboración de fichas técnicas de la herramienta neumática a utilizar

Tabla I: **Ficha técnica de herramienta neumática**

Equipo de Sand-blasting		Esmeriladora	
Consumo de aire	10 CFM	Peso	1.25 lbs.
Presión de trabajo	85 Psi.	Consumo de aire	6.5 CFM
Dimensiones del tanque	12" Diámetro	Presión de trabajo	100.9 Psi.
	22" Altura	Tamaño de espiga	1/4 "

Fuente: Chicago *Pneumatic*. **Manual de Herramientas**.

Pág. 31

Tabla II: **Ficha técnica de herramienta neumática**

Martillo neumático		Pistola de limpieza	
Característica	Valor	Característica	Valor
Peso	4.75 lbs.	Peso	1 lbs.
Consumo de aire	3.13 CFM	Consumo de aire	1.5 CFM
Presión de Trabajo	90 Psi	Presión de Trabajo	90 Psi.

Fuente: Chicago *Pneumatic* **Manual de Herramientas**

Pág. 39

1.3 Presión de trabajo del equipo neumático

Tabla III: Presión de trabajo de equipo neumático

Descripción	Cantidad	Presión de Trabajo Psi
Equipo de sand-blasting	1	85
Esmeriladoras neumáticas	2	100.9
Martillo neumático	1	90
Pistolas de limpieza	4	90
Presión Promedio		92.1

Fuente: Chicago *Pneumatic*. **Manual de Herramientas.**

Pág. 31 y 39

La presión promedio obtenido del producto de la presión del equipo por el número de la cantidad de los equipos, dividido el número de equipo es equivalente a 93.975 Psi.

1.4 Caudal de equipo neumático

Por caudal se entiende la cantidad de aire que suministra el compresor. Existen dos conceptos. El caudal teórico y el caudal efectivo o real.

En el compresor de émbolo oscilante, el caudal teórico es igual al producto de cilindrada por la velocidad de rotación. El caudal efectivo depende de la construcción del compresor y de la presión.

En este caso, el rendimiento volumétrico es muy importante. Es interesante conocer el caudal efectivo del compresor. Sólo éste es el que acciona y regula los equipos neumáticos.

Tabla IV: **Consumo de aire de equipo neumático**

No.	Equipo	Cantidad	Consumo Unitario (CFM)	Consumo Total (CFM)
1	Equipo de Sand-blasting	1	10	10
2	Esmeriladora Neumática	2	6.5	13
3	Martillo Neumático	1	3.4	3.4
4	Pistolas de limpieza	4	1.5	6
	TOTAL	8	21.4	32.4

Fuente: Chicago *Pneumatic*. **Manual de Herramientas.**

Pág. 31 y 39

1.5 Compresores

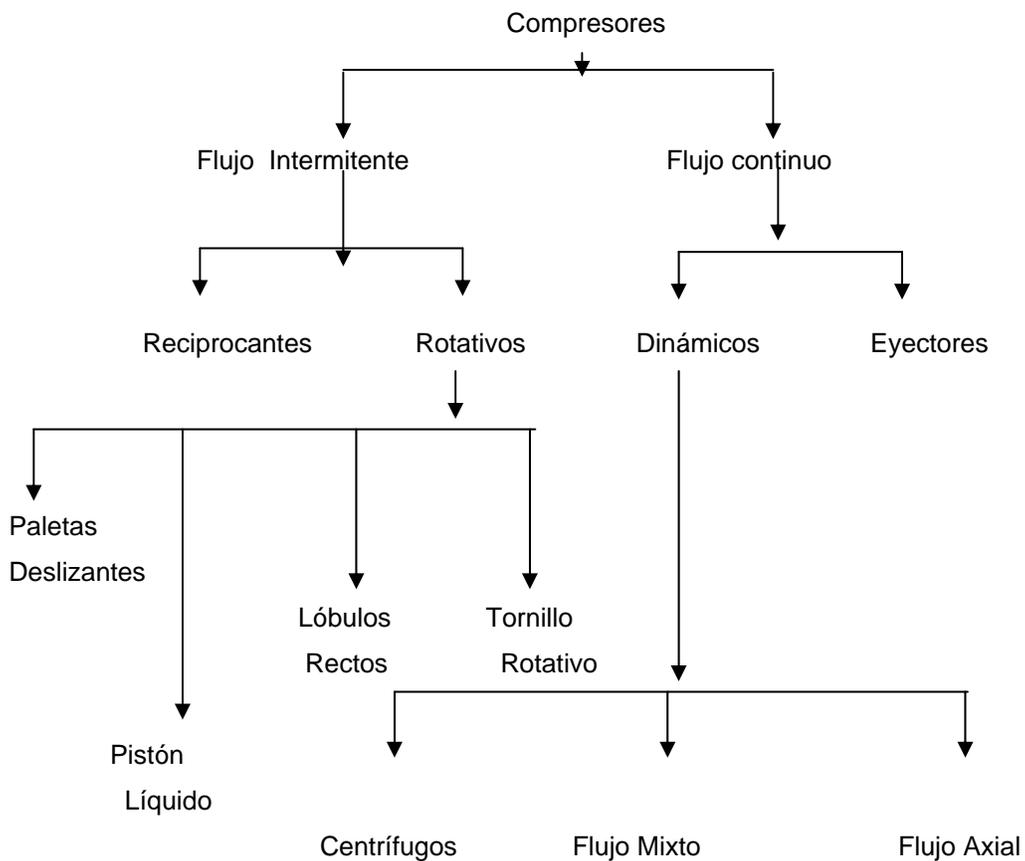
Para producir aire comprimido se utilizan compresores que elevan la presión del aire al valor de trabajo deseado. Los mecanismos y mandos neumáticos se alimentan desde una estación central. Entonces no es necesario calcular ni proyectar la transformación de la energía para cada uno de los consumidores.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

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

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

Para producir aire a bajas presiones, inferiores a 385 mm de agua, se utilizan generalmente ventiladores. Por encima de este valor se emplean varios tipos de compresores y ventiladores, los cuales pueden clasificarse como sigue:

Figura 1: **Esquema de la clasificación de los compresores**



Fuente: Ingersoll-rand. **Manual del profesional del aire comprimido**

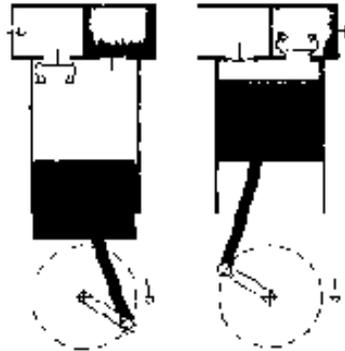
Todas estas maquinas pueden instalare en serie o en paralelo para aumentar la presión o la capacidad, lo cual se lleva a cabo instalando dos, tres, o cuatro cilindros, sobre un mismo bastidor, o bien colocándolos como unidades independientes con refrigeradores intermedios.

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

1.5.1 Compresores Reciprocantes

Las características propias de los compresores de embolo son tales que sus aplicaciones son extensísimas, ya que se adaptan desde las maquinas más pequeñas, como pulverizadores de pintura y servicios de inflado de neumáticos, hasta las grandes unidades *compound*, propias para industrias, minería e instalaciones de refrigeración. La velocidad media del embolo de los compresores viene limitada, a causa de los rozamientos y problemas creados por la lubricación, a 305 m/min en los grandes compresores. Los compresores de embolo prestan un servicio satisfactorio para todas las presiones para las que están contruidos. Para presiones relativas hasta 150.00 Psi (10.5 Kg/cm²), se emplean unidades con un solo escalonamiento; para presiones hasta 2987.00 Psi (210 Kg/cm²) de tres escalonamientos.

Figura 2: **Compresor reciprocante**



Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 11

Los compresores reciprocantes (Fig. 2) tienen un tamaño que varía desde fracciones de $\text{pie}^3/\text{min.}$ (CFM) hasta 15000 CFM ($25\,485\text{ m}^3/\text{h}$) con presiones de descargas hasta de 60 000 Psi man ($413\,790\text{ kPa}$).

La mayoría de las aplicaciones están en el rango de presión de 10 a 300 Psi man ($690\text{ a }2069\text{ kPa}$) y capacidades menores de $2500\text{ pie}^3/\text{min.}$ ($4250\text{ m}^3/\text{h}$). Los compresores de acción sencilla (que comprimen el gas un solo lado del pistón) tienen su mayor aplicación en tipos de menos de 50 hp (37 kW). Los compresores más grandes suelen ser de doble acción (es decir, se emplean ambos lados del pistón para comprimir el gas). La mayor parte de los sistemas de aire operan de 90 a 110 Psi man.

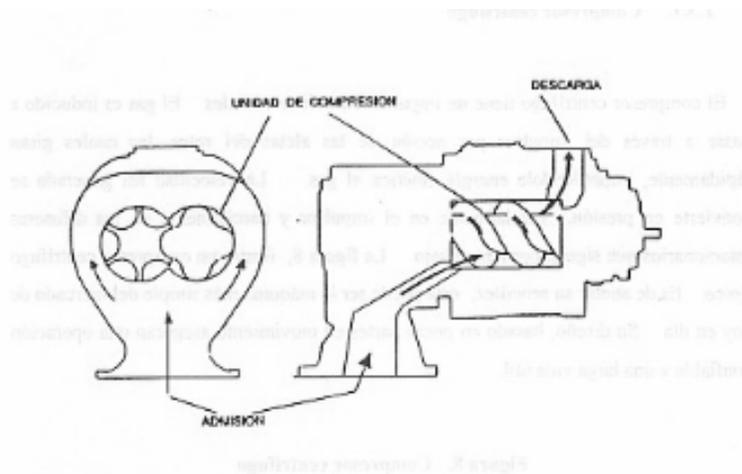
Alguna vez fueron de empleo común los compresores de una etapa de 100 hp (75 kW) que operan a 125 Psi man. En la actualidad, se acostumbran emplear etapas múltiples con inter-enfriamiento para presiones superiores a 80 Psi man (552 kPa) y tamaño de solo 10 hp (7.5 kW). El inter-enfriamiento ahorra energía y las temperaturas más bajas en la descarga dan mayor seguridad y más duración del compresor.

1.5.2 Compresores de tornillo rotativo

Esta maquina es una unidad rotativa de desplazamiento positivo con dos rotores helicoidales (o tornillos rotativos) que comprimen el gas en las cámaras que se forman entre las caras de los lóbulos helicoidales encajados y la carcasa. Los elementos básicos es la carcasa con su ensamble de rotores. Los lóbulos en los rotores no son idénticos. El rotor macho guía (rotor principal) tiene una forma que coincide en la cavidad del rotor hembra o guiado. Alrededor del 85 a 90 % de la potencia es utilizada por el rotor principal, el guiado requiere entre el 10 y 15 %.

Usualmente el rotor principal tiene menos lóbulos que el guiado y por lo tanto opera a mayor velocidad. Los diseños varían en el ángulo de hélice y en el contorno de los lóbulos.

Figura 3: **Admisión y descarga de compresor de tornillo**



Fuente: Ingersoll-rand. **Manual del profesional del aire comprimido**

Pág. 6

1.6 Tuberías

En general, el termino tubería se aplica de manera amplia al tubo, accesorios, válvulas y otros componentes que conducen líquidos, gases, lechada.

Por tubo se entiende aquellos productos tubulares con dimensiones y hechos con materiales de uso común en conductos y conexiones; antes se le mencionaban como tamaño de tubo de hierro (IPS, *iron pipe size*).

Los tubos de presión, se emplean para conducir fluidos o gases a temperaturas o presiones normales, debajo de cero o elevadas, o combinaciones de ambas condiciones. En general no se le sujeta a la aplicación de calor desde el exterior. Los límites de tamaño son desde un tamaño nominal de 1/8 pulgada hasta un DE real de 36 Pulgadas. Se produce en varios espesores de pared. La tubería de presión se obtiene en longitudes diversas, con extremos roscados o lisos, según se requiera. Generalmente el tubo de presión se prueba hidrostáticamente en la fabrica.

1.6.1 Normas para tubería

Sociedades de ingenieros con reconocimiento nacional, entidades encargadas de la emisión de normas y asociaciones de la industria han desarrollado códigos para diversos servicios relacionados con tuberías. El sólido ejercicio de la ingeniería incorporado en estos códigos por lo general cubre los requisitos mínimos de seguridad para la selección de materiales, dimensiones, diseño, fabricación, instalación y prueba de los sistemas de tuberías.

Por medio de la interpretación y revisión continuas de estos códigos se refleja el conocimiento adquirido a través de la experiencia, las pruebas y la investigación.

El ASME *Boiler and Pressure Vessel Code* (código para calderas y recipientes a presión de la ASME).

Sección II: “*Material Specifications*” (especificaciones de los materiales) suministra las especificaciones detalladas de los materiales que resulten aceptables según este código. (Por lo general, estas especificaciones son idénticas a las dadas en las Normas ASTM correspondientes).

Sección VIII: “*Unfired Pressure Vessels*” (Recipientes a presión no calentados) se refiere solo hasta el punto de las conexiones con bridas o roscadas al recipiente a presión, excepto que se aplicara toda la sección en aquellos casos especiales en los que los recipientes a presión se construyen a partir de tubos y sus accesorios.

Algunas otras sociedades de ingeniería y asociaciones del ramo han publicado también normas que cubren las tuberías. Las mas sobresalientes entre estas son la *American Society for Testing and Materials* (ASTM, Sociedad Americana para Pruebas y Materiales), el American National Estándar Institute (ANSI, Instituto Nacional Americano de Normas), el American Petroleum Institute (API, Instituto Americano del Petróleo).

La gran mayoría de las normas ASTM han sido publicadas también por la ASME en la sección II del ASME *Boiler and Pressure Vessel Code*. La ASME aplica los mismos números de especificaciones que asigno originalmente la ASTM.

1.6.1 Clases de tubería

Las tuberías son conductos formados por tubos, los cuales transportan el aire comprimido desde el compresor hasta los lugares de servicio. Las tuberías pueden clasificarse en rígidas, semi-rígidas y flexibles.

1.6.1.1 Tuberías Rígidas

Son aquellas que no poseen movimientos relativos, son usadas en las instalaciones permanentes a altas presiones y emplean tubos fabricados de base metálica.

Entre las tuberías rígidas más utilizadas se encuentran: Las tuberías de acero de peso normalizado, usadas cuando las instalaciones requieren de grandes diámetros (mayores de 4 pulgadas). Las tuberías de cobre, usadas cuando las instalaciones son de reducido diámetro están localizadas en medios poco corrosivos. Cuando se instalen tuberías de cobre debe tenerse en cuenta su alta fragilidad en presencia de vibraciones, su elevado costo y su limitación en cuanto se refiere a accesorios.

1.6.2.2 Tuberías Semi - Rígidas

Estas tuberías poseen cierta capacidad de deformarse, la cual es útil en su instalación y mantenimiento. Estas tuberías están fabricadas en gran parte de materiales termoplásticos como el P.V.C. y el polietileno. Las tuberías semi-rígidas pueden conducir aire a moderadas presiones, son livianas y de un costo relativamente bajo. Pueden soportar medios corrosivos y ligeros desplazamientos sin sufrir daños.

1.6.2.3 Tuberías Flexibles

Conocidas como mangueras, permiten un gran campo de aplicaciones, debido a que pueden soportar deformaciones, vibraciones, medios corrosivos y una gran gama de presiones, según sean los materiales empleados en su fabricación.

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

Entre los materiales mas utilizados en la fabricación de mangueras se encuentran: Nylon, P.V.C. flexible, caucho y lona.

La resistencia de las mangueras está relacionada con el espesor de pared y la clase de material utilizado en su fabricación.

1.6.3 Longitud de tubería

La resistencia al flujo de aire comprimido a través de un conducto se incrementa por la presencia de accesorios y por lo tanto, la capacidad de conducción se ve reducida. Para poder expresar dichas resistencias se ha optado hacerlo en longitudes de tubo recto. Las resistencias así expresadas son sumadas a la longitud real de la tubería y la suma es llamada longitud equivalente de la tubería. Las resistencias que ocasionan los accesorios varían dependiendo de su diámetro.

Codo de 90 con curva grande	0.5	0.5
Codo de 45	0.7	0.7
Retorno (U) abierto	1.0	1.0
Unión de reducción	0.4	0.4

Fuente: Folleto instalaciones mecánicas. **Tuberías neumáticas**

Pág. 9

Como una aproximación, la longitud equivalente de un circuito convencional varia de 1.5 a 2 veces la longitud real del mismo.

1.6.4 Diámetro de tubería

La dimensión del diámetro en una tubería es de suma importancia, debido a que las pérdidas de presión que sufre un fluido cuando se transporta en ella, están directamente relacionadas con su diámetro.

Por ello es importante calcular un diámetro optimo, el cual posea la capacidad de transportar un caudal determinado con salidas de presión aceptables; estas pérdidas oscilan entre un 3% a un 6% de la presión nominal.

Para determinar el diámetro optimo en una instalación neumática se deben seguir los siguientes pasos:

1. Calcular el consumo de aire del equipo, el cual es el resultado de la suma de los consumos individuales de todos los equipos y maquinas neumáticas que se desean instalar.

2. Determine el caudal requerido por la instalación; el cual es el resultado de la suma del consumo de aire del equipo + un 5% por desgaste + 10% por fugas + un 20% o 30 % por futuras ampliaciones.

$$Q_T = Q + Q * 0.05 + Q * 0.10 + Q * 0.30 \quad (\text{f. 2})$$

3. Determine la presión de la instalación; la cual viene dada por la presión máxima requerida para el accionamiento del equipo neumático.

4. Determine la pérdida de presión admisible; la cual es la pérdida basada en la variación de presión que puede sufrir la instalación sin repercutir en el funcionamiento del equipo neumático.

5. Determine la longitud equivalente:

$$\text{Longitud equivalente} = L. \text{ de tubería} + L. \text{ por accesorios.} \quad (\text{f. 3})$$

Para poder determinar, la longitud debida a los accesorios, se deben de tomar un diámetro arbitrario; debido a que esta longitud varia según sea el diámetro de la tubería.

6. Calcule la pérdida de presión en la tubería

$$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000) \quad (\text{f. 4})$$

(lb/plg²)

El factor de pérdida (F) se determina en la tabla VI, con el diámetro de la tubería en Plg. y el caudal de aire requerido por la instalación en Pies³/min. (CFM).

Tabla VI. Factores (F) de cálculo de pérdidas de presión debidas a la fricción en tuberías para cualquier presión inicial.

CFM	½"	¾"	1"	1 ¼"	1 ½"	2"	2 ½"	3"	4"
5	12.7	1.2	0.5						
10	50.7	7.8	2.2	0.5					
15	114	17.6	4.9	1.1					
20	202	304	8.7	2	0.9				
30	456	70.4	19.6	4.5	2				
40	811	125.3	34.8	8.1	3.6				
50		196	54.4	12.6	5.6	1.5			
60		282	78.3	18.2	8	2.2			
70		385	106.6	24.7	10.9	2.9	1.1		
80		503	139.2	32.3	14.3	3.8	1.5		
90		646	176.2	40.9	18.1	4.8	1.9		
100		785	217.4	50.5	22.3	6	2.3		
150			490	113.6	50.3	13.4	5.2	1.6	
200			870	202	89.4	23.9	9.3	2.9	
300				454	201	53.7	20.9	6.6	
400						94.7	37.1	11.7	2.7
500						150	58	18.3	4.3
600						215	83.5	26.3	6.2
700						294	113.7	35.8	8.5
800						382	148.4	46.7	11.1
900						486	188	59.1	14
1000						600	232	73	17.3

Fuente: Carnicer, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones

$$\text{Factor de tubería} = (\text{P. Instalaciones} + \text{P. Manométrica}) / (\text{P. Manométrica})$$

(R) (f. 5)

Longitud equivalente = en pies

7. Se cuantifica la pérdida de presión en porcentaje

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}} \quad (\text{f. 6})$$

8. Se compara la pérdida admisible de presión con la pérdida de presión en la tubería; si esta última es mayor se debe aumentar el diámetro de la tubería.

El diámetro óptimo de la tubería neumática se determina por tanteos, al variar el diámetro dentro de la tubería y corroborar que la pérdida de presión en la tubería sea igual o menor que la pérdida de presión admisible.

1.6.4.1. Pérdidas de presión por fricción en las tuberías

Las pérdidas de presión por fricción en tuberías vienen representadas por caídas de presión ocasionadas por la longitud de la tubería más los accesorios colocados en las líneas de aire, estas pérdidas son calculadas a través de la fórmula 4.

$$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$$

(lb/plg²) (f. 4)

1.6.4.2 Tablas de factor de pérdida de fricción

Tabla VII: Factores de pérdida por fricción en accesorios

Accesorios	Tamaño nominal de la tubería (Plg)						
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2
Codo	1.55	2.06	2.62	3.45	4.02	5.17	6.16
Válvula de compuerta	0.36	0.48	0.61	0.81	0.94	1.21	1.4
Válvula de ángulo	6.65	11.4	14.6	19.1	22.4	28.7	34.3
Válvula de globo	17.3	22.9	29.1	38.3	44.7	57.4	66.5
Tees	0.62	0.82	1.05	1.38	1.61	2.07	2.47
Reducción	0.066	0.132	0.165	0.198	0.231	0.33	0.66
Cuello de cisne	0.627	0.66	0.825	1.07	1.32	1.65	
Filtro separador	0.66	0.99	1.32	1.65	1.96	2.31	3.3

Fuente: Carnicer, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones

Pág. 300

1.6.5 Instalación de tubería

Es de suma importancia una buena instalación de la tubería debido a que su trazado y montaje afectan directamente a la eficiencia del sistema neumático. Una buena instalación proporciona un buen servicio, prolongando la vida de sus componentes y reduciendo considerablemente la probabilidad de fallas de los equipos neumáticos.

La tubería principal debe ser de circuito cerrado y no abierto o ramificado; para que la presión y el caudal sean lo mas uniformes posibles en cualquier punto de la tubería.

Las conducciones deben ser lo mas cortas posibles, de tener el mínimo de curvas cerradas e innecesarias para evitar que se incremente la pérdida de presión.

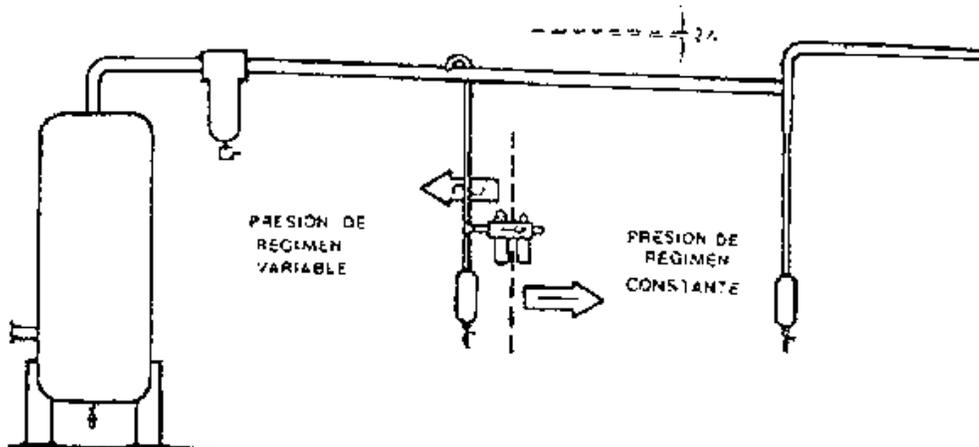
Las instalaciones permanentes de tubería; rígida deben instalarse adecuadamente para evitar transmitir las vibraciones del compresor y los esfuerzos no deseados, causados por las contracciones y dilataciones de los materiales, debidos a los cambios de temperatura.

Las vibraciones y los esfuerzos se deben de minimizar o evitar para que no causen deterioro en tuberías y equipos o que provoquen la aparición de fugas.

Las vibraciones excesivas que se producen en el compresor se pueden eliminar en la tubería por medio de la colocación de una tubería flexible intermedia entre el compresor y la tubería rígida.

La red debe tener cierta pendiente a favor del sentido del flujo para que la humedad condensada sea dirigida hacia los purgadores, por la acción de la gravedad y por el sentido del caudal. Esta pendiente debe ser aproximadamente de 1 pie por cada 40 pies de largo o ser de un 2% como se ilustra en la figura 5. Al final debe instalarse una válvula de purga.

Figura 5. Pendiente en una red de aire comprimido



Fuente: Carnicer, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones

Pág. 224

Los efectos dañinos causados por los esfuerzos internos de las tuberías se pueden minimizar por medio de abrazaderas que posean revestimiento interno de algún elastómero o por medio de juntas de dilatación, las cuales logran fijar la conducción y le permite a su vez una ligera libertad de desplazamiento radial y axial, respectivamente; se deben evitar las fugas para que no reduzcan la eficiencia del sistema e incrementen los costos de operación.

Para evitar las fugas de accesorios en los puntos de conexión debe emplearse algún tipo de sellante, como el cáñamo impregnado de adhesivo o por una cinta plástica de teflón.

Las tuberías deben estar libres de materias extrañas como virutas metálicas, oxido o suciedad; para evitar daños en las válvulas, lubricadores, filtros y elementos de trabajo.

1.6.6 Uniones de tuberías

La instalación de tuberías se hace en obras, es decir, que las secciones se cortan a la medida y se van empleando en el lugar de la instalación.

Las uniones pueden ser:

- a. Uniones roscadas
- b. Uniones por bridas

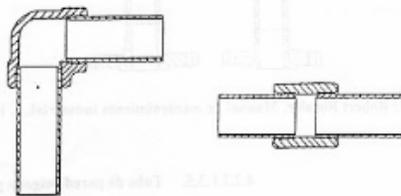
1.6.6.1 Uniones roscadas

Usuales en tuberías de diámetro pequeño (hasta diámetros nominales de 4 pulgadas como máximo).

Las roscas en los tubos (Figura 6) a diferencia de los tornillos tienen cierta conicidad lo que hace que al apretarlas queden juntas herméticas, sobre todo cuando previamente se aplican sellantes (teflón, permatex, epoxicos).

Cuando los tubos se unen mediante juntas roscadas, debe de observarse la eliminación de toda la rebaba interior que usualmente se forma al momento de hacer las roscas, por lo que se recomienda después del roscado realizar en el tubo un rimado.

Figura 6. **Uniones roscadas**



Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**

Pág. 10

1.6.6.2 Uniones por bridas

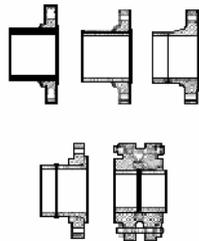
La forma usual de unir tubos es por medio del atornillado de bridas fundidas o forjadas que forman parte integral del tubo o accesorio, bridas roscadas, bridas sueltas sobre los tubos con los extremos montados y bridas dispuestas para soldarse. Estas formas se ilustran en la figura 7.

La brida roscada es satisfactoria para presiones de vapor bajas y medias. La unión montada se permite en los mismos tamaños y capacidades nominales de servicio que las juntas con bridas integrales; son muy usadas en los trabajos de alta calidad. Con la junta de anillos se puede mantener una presión mayor con el mismo esfuerzo total en los tornillos que la que se puede tener con el tipo de junta de empaquetadura plástica.

La junta soldada elimina la posibilidad de fugas entre la brida y el tubo; se emplea con éxito en las tuberías sujetas a altas temperaturas y presiones y fuertes deformaciones por dilatación.

Los requisitos específicos que cubren la aplicación de todos los tipos de juntas de uso común se detallan en el *Code for Power Piping* (Código para tubería a presión) (ASME B31.1 y B31.3).

Figura 7. Uniones por bridas



Fuente: Avallone Eugene y Theodore Baumeister III, **Manual del Ingeniero Mecánico**

Pág. 8-224

1.6.7 Tabla de propiedades de tubo comercial de acero:

Tabla VIII. Propiedades de tubo comercial

Tamaño nominal del tubo, diámetro exterior, pulg	Número de cédula*			Espesor de pared, pulg	Diámetro interior, pulg	Área interior, pulg ²	Área del metal, pulg ²	Superficie exterior, pie ² /pie	Superficie interior, pie ² /pie	Peso, lb/pie [†]	Peso del agua, lb/pie	Momento de inercia, pulg ⁴	Módulo de la sección, pulg ³	Radio de giro, pulg
	a	b	c											
0.405	40	Est	10S	0.049	0.307	0.0740	0.0548	0.106	0.0804	0.186	0.0321	0.00088	0.00437	0.1271
		XS	40S	0.068	0.269	0.0568	0.0720	0.106	0.0705	0.245	0.0246	0.00106	0.000525	0.1215
		XXS	80S	0.095	0.215	0.0364	0.0925	0.106	0.0563	0.315	0.0157	0.00122	0.000600	0.1146
0.540	40	Est	10S	0.065	0.410	0.1320	0.0970	0.141	0.1073	0.330	0.0572	0.00279	0.01032	0.1694
		XS	40S	0.088	0.364	0.1041	0.1250	0.141	0.0955	0.425	0.0451	0.00331	0.01230	0.1628
		XXS	80S	0.119	0.302	0.0716	0.1574	0.141	0.0794	0.535	0.0310	0.00378	0.01395	0.1547
0.675	40	Est	SS	0.065	0.710	0.396	0.1582	0.220	0.1859	0.538	0.1716	0.01197	0.0285	0.2750
		XS	10S	0.065	0.545	0.2333	0.1246	0.177	0.1427	0.423	0.1011	0.00586	0.01737	0.2169
		XXS	40S	0.091	0.493	0.1910	0.1670	0.177	0.1295	0.568	0.0827	0.00730	0.02160	0.2090
0.840	80	Est	10S	0.126	0.423	0.1405	0.2173	0.177	0.1106	0.739	0.0609	0.00862	0.02554	0.1991
		XS	SS	0.065	0.710	0.3959	0.1583	0.220	0.1859	0.538	0.171	0.0120	0.0285	0.2750
		XXS	10S	0.083	0.674	0.357	0.1974	0.220	0.1765	0.671	0.1547	0.01431	0.0341	0.2692
1.050	40	Est	10S	0.109	0.622	0.304	0.2503	0.220	0.1628	0.851	0.1316	0.01710	0.0407	0.2613
		XS	40S	0.147	0.546	0.2340	0.320	0.220	0.1433	1.088	0.1013	0.02010	0.0478	0.2505
		XXS	80S	0.187	0.466	0.1706	0.383	0.220	0.1220	1.304	0.0740	0.02213	0.0577	0.2402
1.315	80	Est	SS	0.294	0.252	0.0499	0.504	0.220	0.0660	1.714	0.0216	0.02425	0.0577	0.2192
		XS	10S	0.065	0.920	0.665	0.2011	0.275	0.2409	0.684	0.2882	0.02451	0.0467	0.349
		XXS	40S	0.083	0.884	0.614	0.2321	0.275	0.2314	0.857	0.2661	0.02970	0.0566	0.343
1.660	80	Est	10S	0.113	0.824	0.533	0.333	0.275	0.2157	1.131	0.2301	0.0370	0.0706	0.334
		XS	40S	0.154	0.742	0.432	0.435	0.275	0.1943	1.474	0.1875	0.0448	0.0853	0.321
		XXS	80S	0.218	0.614	0.2961	0.570	0.275	0.1607	1.937	0.1284	0.0527	0.1004	0.304
1.660	160	Est	SS	0.308	0.434	0.1479	0.718	0.275	0.1137	2.441	0.0641	0.0579	0.1104	0.2840
		XS	10S	0.065	1.185	1.103	0.2553	0.344	0.310	0.868	0.478	0.0500	0.0760	0.443
		XXS	40S	0.109	1.097	0.945	0.413	0.344	0.2872	1.404	0.409	0.0757	0.1151	0.428
1.660	160	Est	10S	0.133	1.049	0.864	0.494	0.344	0.2746	1.679	0.374	0.0874	0.1329	0.421
		XS	40S	0.179	0.937	0.719	0.639	0.344	0.2520	2.172	0.311	0.1056	0.1606	0.407
		XXS	80S	0.250	0.815	0.522	0.836	0.344	0.2134	2.844	0.2261	0.1252	0.1903	0.387
1.660	160	Est	SS	0.358	0.599	0.2818	1.076	0.344	0.1570	3.659	0.1221	0.1405	0.2137	0.361
		XS	10S	0.065	1.530	1.839	0.326	0.434	0.401	1.107	0.797	0.1038	0.1250	0.564
		XXS	40S	0.109	1.442	1.633	0.531	0.434	0.378	1.805	0.707	0.1605	0.1934	0.550
1.660	160	Est	10S	0.140	1.380	1.496	0.669	0.434	0.361	2.273	0.648	0.1948	0.2346	0.540
		XS	40S	0.191	1.278	1.283	0.997	0.434	0.335	2.997	0.555	0.2418	0.2913	0.524
		XXS	80S	0.250	1.160	1.057	1.107	0.434	0.304	3.765	0.458	0.2839	0.342	0.506
1.660	160	Est	SS	0.382	0.896	0.631	1.534	0.434	0.2346	5.214	0.2732	0.341	0.411	0.472
		XS	10S	0.065	1.896	2.281	0.631	0.434	0.304	4.011	0.707	0.1605	0.1934	0.550
		XXS	40S	0.109	1.780	1.583	0.997	0.434	0.335	2.997	0.555	0.2418	0.2913	0.524

Fuente: Avallone Eugene y Theodore Baumeister III, **Manual del Ingeniero Mecánico**

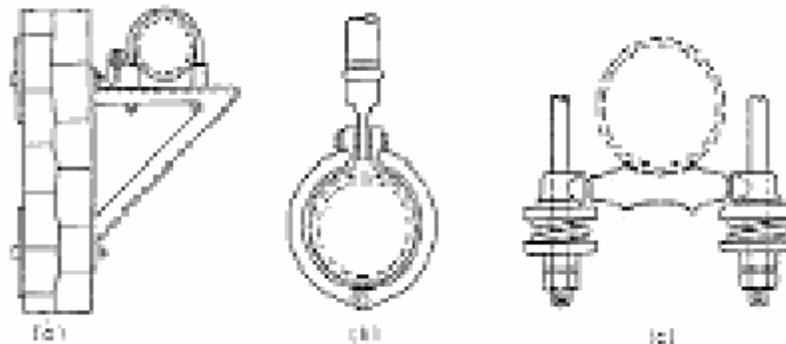
1.6.8 Soporte de Tuberías

El *Code for Pressure Piping* comprende muchos tipos de soportes y da las instrucciones para su aplicación. Un soporte apropiado para tubería debe tener una base resistente y rígida apoyada adecuadamente y un dispositivo regulable de rodillos que mantengan la alineación en cualquier dirección. Es importante evitar la fricción producida por el movimiento de la tubería en su soporte y que todas las partes tengan la suficiente resistencia para mantener la alineación en todo momento. Los suspensores de alambre, de flejes o cintas de hierro, de madera, los contruidos con tubo pequeño y los que tienen un soporte de tubo vertical no conservan la alineación.

La dirección de la expansión de un tramo de tubería puede predeterminarse anclando un extremo, ambos extremos o su punto medio. Los anclajes deben sujetarse firmemente a una parte rígida y fuerte de la estructura de la planta y deben además unirse con seguridad al tubo, pues de no hacerlo así, será inútil cualquier accesorio para la absorción de la expansión y pueden originarse esfuerzos severos en partes del sistema de tubería. En la figura 8, se ilustran algunos métodos de soporte. Las mensulas soldadas de acero, se consiguen en pesos ligeros, mediano y pesado. Se pueden instalar muchos tipos de soportes sobre estas mensulas, como la silleta de anclaje ilustrada sobre la ménsula en (a), los soportes de rodillos para tubería del tipo ilustrado en (c). En la figura 8b se ilustra uno de los muchos tipos de suspensores de anillo ajustable que están en uso. El suspensor de anillo partido puede aplicarse después de colocar la tubería en su lugar. En (c) de la figura 8 se ilustra un suspensor de rodillo con amortiguador de resorte, recomendado para servicio en el que se requiere apoyo constante y se deba compensar (solo es constante en el sentido de que siempre esta presente cierto grado de apoyo).

Tal vez el nombre mas apropiado seria dispositivo de apoyo variable el movimiento de la tubería. Los resortes proporcionan un medio eficiente para absorber la vibración.

Figura 8. **Soportes de tubería**



Fuente: Avallone Eugene y Theodore Baumeister III, **Manual del Ingeniero Mecánico**
Pág. 8-239

La distancia entre soportes, tabla 9 variara con la clase de tubería y el número de válvulas y accesorios. Los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección. El peso de la tubería no debe cargarse a los cuerpos de válvulas. Al establecer la localización de los soportes de los tubos, el diseñador debe guiarse por dos condiciones: 1) la luz o claro horizontal no debe ser tan larga que la flecha del tubo imponga un esfuerzo excesivo en la pared del mismo; 2) la tubería debe inclinarse en sentido descendente de modo que la salida de cada tramo quede mas baja que la flecha máxima de este. De lo contrario, el agua atrapada puede dar lugar a ariete hidráulico y oscilaciones del tubo severos.

Tabla IX: **Longitud de soporte de tuberías**

Longitud de soporte de tubería		
Diámetro de tubería (Plg.)	Vertical (m)	Horizontal (m)
¼"	1.25	1
½"	1.75	1.25
¾"	2.7	1.75
1 ¼"	3	2.5
1 ½"	3	2.5
2"	3.5	2.75
3"	3.5	3
4"	3.5	3
6"	4.25	3.5
10"	5.18	4.25
12"	5.48	4.87

Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**

Pág. 227

1.7 Accesorios

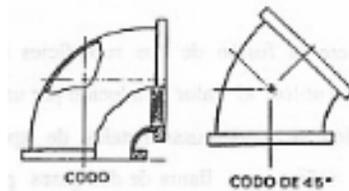
En toda instalación de tuberías es indispensable la utilización de accesorios, estos se utilizan para poder adaptar la tubería a la forma del edificio y para poder cumplir satisfactoriamente las necesidades de las maquinas neumáticas.

1.7.1 Tipos de accesorios

1.7.1.1 Codos

Acoplamiento rígido que cambia la dirección del fluido a 30, 45, 60 o 90 grados, son usados cuando el espacio es limitado o cuando el diseño de la tubería lo amerite. Los codos pueden ser: codos iguales cuando poseen dimensiones iguales en sus extremos, y codos desiguales cuando hay variaciones de diámetros en sus extremos.

Figura 9. **Codo**

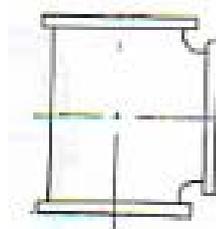


Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**
Pág. 10

1.7.1.2 Tees

Elementos de conducción que sirve para acoplar tres tuberías; el diámetro de estas tuberías pueden ser iguales o desiguales según sean las características de la te.

Figura 10. **Te**

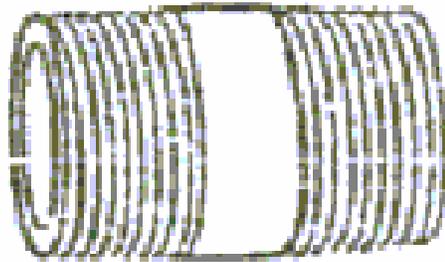


Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**
Pág. 10

1.7.1.3 Niples

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro. La unión posee rosca hembra mientras el niple tiene rosca doble macho, figura 11

Figura 11. Niple



Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**

Pág. 12

1.7.1.4 Cruces

Son elementos de conexión, los cuales sirven para acoplar cuatro tuberías en un mismo plano, son utilizadas para hacer derivaciones de una línea. Las cruces pueden ser de cruz igual si poseen una misma dimensión en sus extremos o cruz desigual, si hay variación en uno o dos de sus extremos.

1.7.1.5 Reducciones

Elementos que acoplan conducciones de diferentes diámetros, estos sirven para aumentar o disminuir el diámetro según sea la dirección del flujo.

Figura 12. **Reducción**



Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**

Pág. 10

1.7.1.6 Adaptadores

Elemento de unión que admite un enlace de tuberías con distintas roscas.

1.7.1.7 Niples

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro posee rosca doble macho.

1.7.1.8 Uniones

Accesorios que sirven como enlace entre tubos del mismo diámetro, teniendo la unión rosca hembra.

Figura 13. **Uniones**



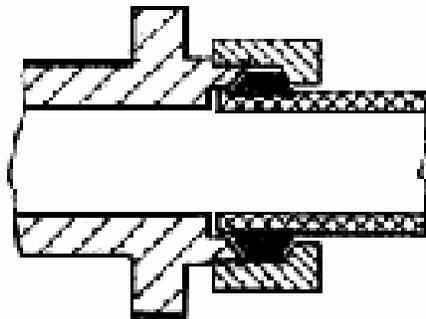
Fuente: Robert Rosales, **Manual de mantenimiento Industrial**

Pág. 12

1.7.1.9 Acoples rápidos

Dispositivos que sirven para unir fácil y velozmente elementos neumáticos con la red, figura 14. Son utilizados cuando se tiene la necesidad de estar acoplando o desacoplando diferentes maquinas o dispositivos neumáticos a un mismo punto de conexión. Los acoples rápidos cuentan internamente con un dispositivo el cual cierra automáticamente el paso de aire al desconectar el equipo impidiendo así, cualquier escape innecesario de aire.

Figura 14. Racor con anillo de sujeción



Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**

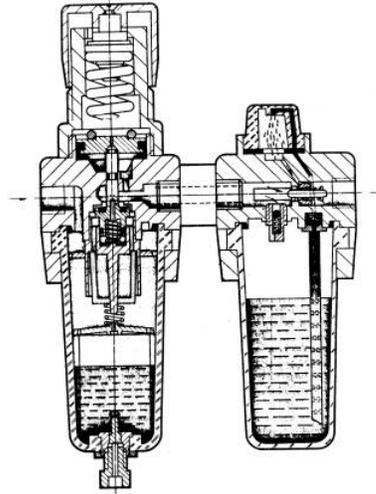
Pág. 50

1.7.1.10 Unidad de mantenimiento

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

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

Figura 15. **Unidad de mantenimiento**



Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 22

En la selección de una unidad de mantenimiento debe tenerse en cuenta. El caudal total de aire en m^3/h es decisivo para la elección del tamaño de unidad. Si el caudal es demasiado grande, se produce en las unidades una caída de presión demasiado grande. Por eso, es imprescindible respetar los valores indicados por el fabricante.

La presión de trabajo no debe sobrepasar el valor estipulado en la unidad, y la temperatura no deberá ser tampoco superior a 50 C (valores máximos para recipiente de plástico).

Tamaño de las partículas a separar, estas dependen de la naturaleza de las válvulas y de los elementos de la maquinaria.

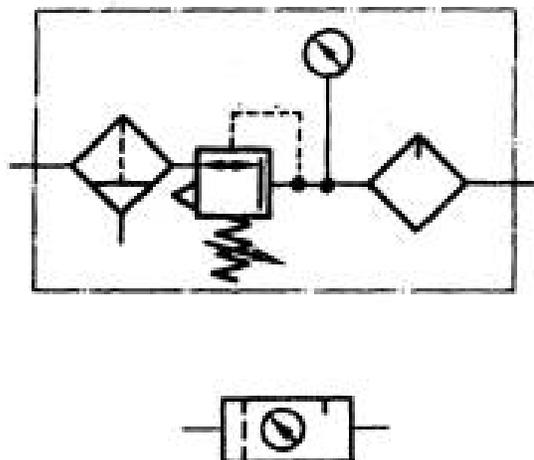
Capacidad del filtro, debe ser la mayor posible para reducir la fricción del aire al atravesarlo y para asegurar su buen funcionamiento aunque hubiera una limpieza descuidada en su mantenimiento.

Accesibilidad, asegura el desmontaje y montaje rápidamente para evitar un paro seguro muy largo, conviene montar 2 en paralelo para que mientras se limpie o cambie un filtro, funcione el otro.

Disponibilidad de repuestos, es la capacidad de poder contar con piezas de repuestos o filtros de recambio si se tratan del tipo desechable.

Capacidad de separar y almacenar, el filtro debe de contar con un deposito con capacidad suficiente para manejar el líquido separado; y almacenarlo, evitando así, la saturación con agua del elemento filtrante.

Figura 16. **Simbología de la unidad de mantenimiento**



Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 22

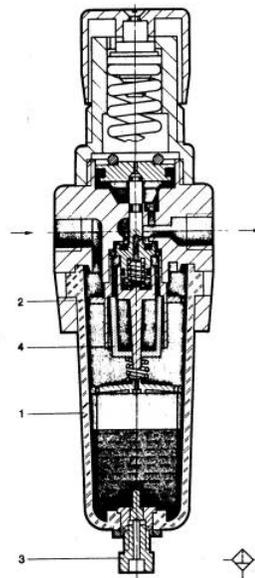
1.7.1.10.1 Filtro de aire comprimido con regulador de presión

El filtro tiene la misión de extraer del aire comprimido circulante todas las impurezas y el agua condensada.

Para entrar en el recipiente (1), el aire comprimido tiene que atravesar la chapa deflectora (2) provista de ranuras directrices. Como consecuencia se somete a un movimiento de rotación. Los componentes líquidos y las partículas grandes de suciedad se desprenden por el efecto de la fuerza centrífuga y se acumulan en la parte inferior del recipiente.

En el filtro sintetizado (4) [ancho medio de poros, 40 mm] sigue la depuración del aire comprimido.

Figura 17. Esquema de filtro de aire comprimido



Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**

Pág. 325

Dicho filtro (4) separa otras partículas de suciedad. Debe ser sustituido o limpiado de vez en cuando, según el grado de ensuciamiento del aire comprimido.

El aire comprimido limpio pasa entonces por el regulador de presión y llega a la unidad de lubricación y de aquí a los consumidores.

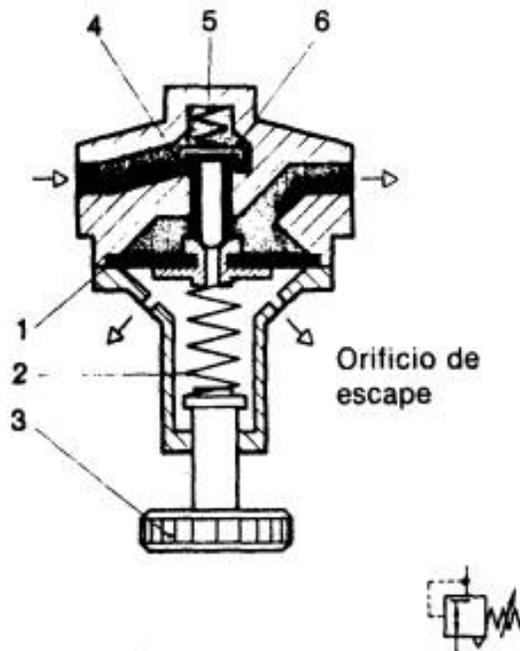
La condensación acumulada en la parte inferior del recipiente (1) se deberá vaciar antes de que alcance la altura máxima admisible, a través del tornillo de purga (3). Si la cantidad que se condensa es grande, conviene montar una purga automática de agua.

1.7.1.10.2 Reguladores de presión

El regulador tiene la misión de mantener la presión de trabajo (secundaria) lo más constante posible, independientemente de las variaciones que sufra la presión de red (primaria) y del consumo de aire. La presión primaria siempre ha de ser mayor que la secundaria. Es regulada por la membrana (1), que es sometida, por un lado, a la presión de trabajo, y por el otro a la fuerza de un resorte (2), ajustable por medio de un tornillo (3).

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

Figura 18. **Regulador de presión**



Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 44

Al tomar aire, la presión de trabajo disminuye y el muelle abre la válvula. La regulación de la presión de salida ajustada consiste, pues, en la apertura y cierre constantes de la válvula. Al objeto de evitar oscilaciones, encima del platillo de válvula (6) hay dispuesto un amortiguador neumático o de muelle (5). La presión de trabajo se visualiza en un manómetro.

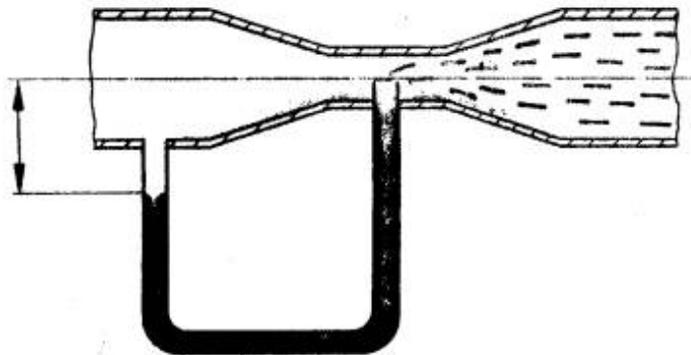
Cuando la presión secundaria aumenta demasiado, la membrana es empujada contra el muelle. Entonces se abre el orificio de escape en la parte central de la membrana y el aire puede salir a la atmósfera por los orificios de escape existentes en la caja.

1.7.1.10.3 Lubricador de aire comprimido

El lubricador tiene la misión de lubricar los elementos neumáticos en medida suficiente. El lubricante previene un desgaste prematuro de las piezas móviles, reduce el rozamiento y protege los elementos contra la corrosión.

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

Figura 19. Principio de *venturi*



Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 9

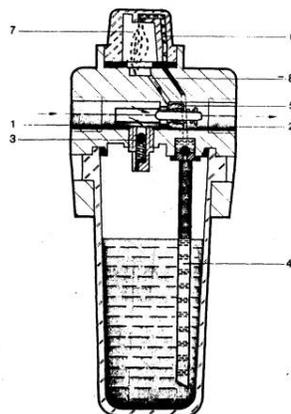
El lubricador no trabaja hasta que la velocidad del flujo es suficientemente grande. Si se consume poco aire, la velocidad de flujo en la tobera no alcanza para producir una depresión suficiente y aspirar el aceite del depósito.

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

La sección de flujo varía según la cantidad de aire que pasa y varía la caída de presión, o sea, varía la cantidad de aceite. En la parte superior del tubo elevador (4) se puede realizar otro ajuste de la cantidad de aceite, por medio de un tornillo.

Una determinada cantidad de aceite ejerce presión sobre el aceite que le encuentra en el depósito, a través de la válvula de retención (3).

Figura 20. **Lubricador de aire comprimido**



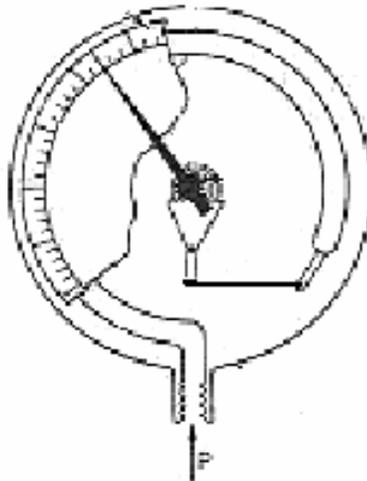
Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 27

1.7.11 Manómetros

El objetivo principal de los manómetros es el de proveer una medida visual para conocer la presión que se encuentre en la línea de distribución. El manómetro consta esencialmente de los siguientes componentes: cuerpo, muelle tubular o tubo de *Bourdon*, palanca, aguja y escala. Su funcionamiento es basado en el esfuerzo a que es sometido el muelle tubular por efecto de la presión, que tiende a enderezarlo. Esta deformación, que varia en función de la presión, abre ligeramente el muelle tubular. El recorrido producido por la deformación elástica del muelle es transmitido a través de una palanca, el segmento de cremallera y piñón. Dado que el piñón y la aguja están unidos rígidamente, esta se desvía pudiendo leerse así la presión en la escala.

Figura 21. **Manómetro Bourdon**

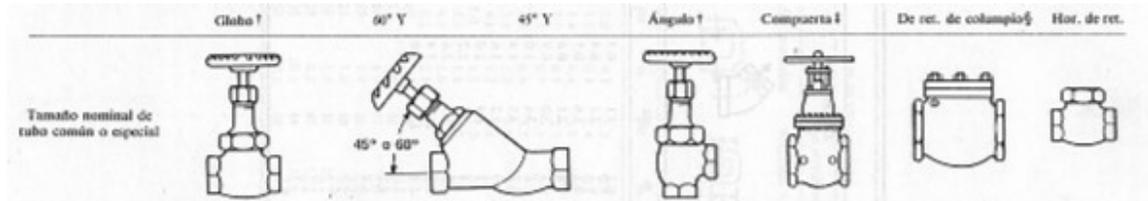


Fuente: Facultad de Ingeniería, **Manual de Laboratorio de Neumática**

Pág. 29

1.7.2 Pérdidas ocasionadas por accesorios:

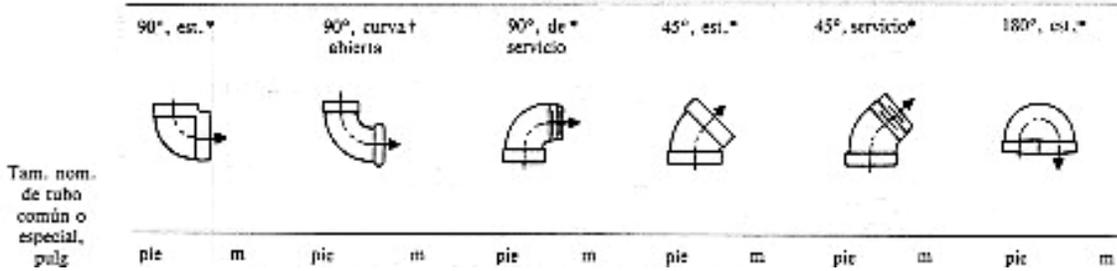
Tabla X. Pérdidas ocasionadas por accesorios



Plg.	mm	pie	m	pie	m	pie	m	pie	m	pie	m
3/8	10	17	5.0	8	2.4	6	1.8	6	1.8	0.6	0.2
1/2	12	18	5.5	9	2.7	7	2.1	7	2.1	0.7	0.2
3/4	20	22	6.7	11	3.4	9	2.7	9	2.7	0.9	0.3
1	25	29	8.8	15	4.6	12	3.7	12	3.7	1.0	0.3
1 1/4	32	38	11.6	20	6.1	15	4.6	15	4.6	1.5	0.5
1 1/2	40	43	13.1	24	7.3	18	5.5	18	5.5	1.8	0.5
2	50	55	16.8	30	9.1	24	7.3	24	7.3	2.3	0.7
2 1/2	60	69	21.0	35	10.7	29	8.8	29	8.8	2.8	0.9
3	80	84	25.6	43	13.1	35	10.7	35	10.7	3.2	1.0
3 1/2	90	100	30.5	50	15.2	41	12.5	41	12.5	4.0	1.2
4	100	120	36.6	58	17.7	47	14.3	47	14.3	4.5	1.4
5	130	140	42.7	71	21.6	58	17.7	58	17.7	6	1.8
6	150	170	51.6	88	26.8	70	21.3	70	21.3	7	2.1
8	200	220	67.1	115	35.1	85	25.9	85	25.9	9	2.7
10	250	280	85.3	145	44.2	105	32.0	105	32.0	12	3.7
12	300	320	97.5	165	50.3	130	39.6	130	39.6	13	4.0
14	350	360	109.7	185	56.4	155	47.2	155	47.2	15	4.6
16	400	410	125.0	210	64.0	180	54.9	180	54.9	17	5.0
18	450	460	140.2	240	73.2	200	61.0	200	61.0	19	5.8
20	500	520	158.5	275	83.8	235	71.6	235	71.6	22	6.7
24	600	610	185.9	320	97.5	265	80.8	265	80.8	25	7.6

Fuente: Avallone Eugene y Theodore Baumeister III, **Manual del Ingeniero Mecánico**

Tabla XI. Pérdidas ocasionadas por accesorios en codos



3/8	1.4	0.4	0.9	0.32	2.3	0.7	0.7	0.2	1.1	0.3	2.3	0.7
1/2	1.6	0.5	1.0	0.3	2.5	0.8	0.8	0.2	1.3	0.4	2.5	0.8
3/4	2.0	0.6	1.4	0.4	3.2	1.0	0.9	0.3	1.6	0.5	3.2	1.0
1	2.6	0.8	1.7	0.5	4.1	1.2	1.3	0.4	2.1	0.6	4.1	1.2
1 1/4	3.3	1.0	2.3	0.7	5.6	1.7	1.7	0.5	3.0	0.9	5.6	1.7
1 1/2	4.0	1.2	2.6	0.8	6.3	1.9	2.1	0.6	3.4	1.0	6.3	1.9
2	5.0	1.5	3.3	1.0	8.2	2.5	2.6	0.8	4.5	1.4	8.2	2.5
2 1/2	6.0	1.8	4.1	1.2	10	3.0	3.2	1.0	5.2	1.6	10	3.0
3	7.5	2.3	5.0	1.5	12	3.7	4.0	1.2	6.4	2.0	12	3.7
3 1/2	9.0	2.7	5.9	1.8	15	4.6	4.7	1.4	7.3	2.2	15	1.6
4	10	3.0	6.7	2.0	17	5.2	5.2	1.6	6.5	2.6	17	5.2
5	13	4.0	8.2	2.5	21	6.4	6.5	2.0	11	3.4	21	6.4
6	16	4.9	10	3.0	25	7.6	7.9	2.4	13	4.0	25	7.6
8	20	6.1	13	4.0			10	3.0			33	10.1
10	25	7.6	16	4.9			13	4.0			42	12.8
12	30	9.1	19	5.8			16	4.9			50	15.2
14	34	10.4	23	7.0			18	5.5			55	16.8
16	38	11.6	26	7.9			20	6.1			62	18.9
18	42	12.8	29	8.8			23	7.0			70	21.3
20	50	15.2	33	10.1			26	7.9			81	24.7
24	60	18.3	40	12.2			30	9.1			94	28.7

Fuente: Avallone Eugene y Theodore Baumeister III, **Manual del Ingeniero Mecánico**

1.7.3 Instalación de accesorios

Los purgadores deben colocarse en los puntos más bajos de las pendientes y no debiendo de exceder una longitud de 100 pies entre ellos; evitando así una acumulación excesiva de condensado, que podría afectar a las herramientas y equipos neumáticos si llega a ellos.

Los reguladores de presión deben estar ubicados en los ramales de distribución o cerca del punto de uso, para evitar pérdidas innecesarias que puedan afectar el rendimiento de las herramientas o equipos.

Las líneas de servicio deben partir de la parte superior de la conducción principal y cambiar su sentido en 180 grados con una curvatura preferiblemente de radio largo. Cada línea derivada debe de poseer su columna de condensado y su respectivo purgador.

Además, deberá de colocarse en el cuarto de compresores, el compresor, filtro de compresor, tanque de almacenamiento, filtros y secador.

1.7.4 Cálculo de caudal teórico

Por caudal se entiende la cantidad de aire que suministra el compresor. Existen dos conceptos, el caudal teórico y el caudal efectivo o real.

En el compresor de émbolo oscilante, el caudal teórico es igual al producto de cilindrada por velocidad de rotación. El caudal efectivo depende de la construcción del compresor y de la presión. En este caso, el rendimiento volumétrico es muy importante.

Es interesante conocer el caudal efectivo del compresor. Sólo éste es el que acciona y regula los equipos neumáticos. El caudal se expresa en m³/min. ó m³/h. No obstante, son numerosos los fabricantes que solamente indican el caudal teórico.

1.7.5 Cálculo de presión teórica

Se distinguen dos conceptos: La presión de servicio es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores.

La presión de trabajo es la necesaria en el puesto de trabajo considerado. Por eso, los datos de servicio de los elementos se refieren a esta presión.

Para calcular la demanda de presión se debe de sumar la presión prescrita a la herramienta, la caída de presión que se presentara en la línea y los accesorios, obteniendo así la presión al inicio de la línea principal.

$$P_2 = P_1 + P$$

P_2 = Presión demandada en Psi.

P_1 = Presión de la herramienta en Psi. (La mayor).

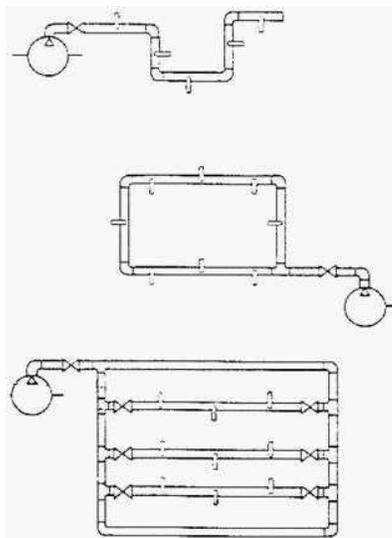
P = Caída de presión admisible en la línea en Psi. (3 al 6%).

2. FASE-TÉCNICO PROFESIONAL

2.1 Selección del circuito de línea de aire a utilizar

Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido tal como se muestra en la figura 22. En una red de aire el factor más esencial de todos es la distribución de agua en la red puesto que los datos de pérdidas, velocidad, presión pueden ser calculados matemáticamente sin mayor dificultad. En cambio las zonas de acumulación de agua en una red han de ser detectadas por la pericia del ingeniero. Por tal razón analizaremos las posible configuraciones de una red de aire y seleccionare al final la mas adecuada para satisfacer las necesidades de la empresa.

Figura 22. Posibles configuraciones de las redes de aire



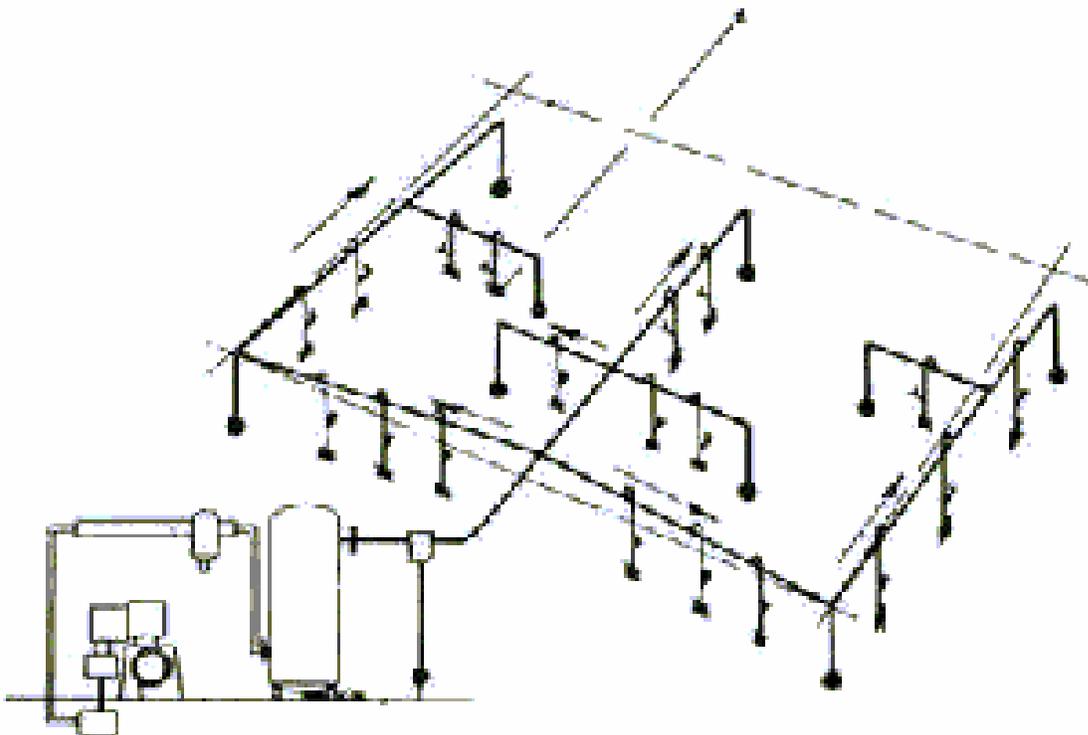
Fuente: Carnicer, E. Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones

Pág. 224

2.1.1. Red abierta

Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la figura 22. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados tal como se muestra en la figura 23. La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante una reparación es posible que se detenga el suministro de aire “aguas abajo” del punto de corte lo que implica una detención de la producción.

Figura 23. **Configuración abierta y su inclinación**



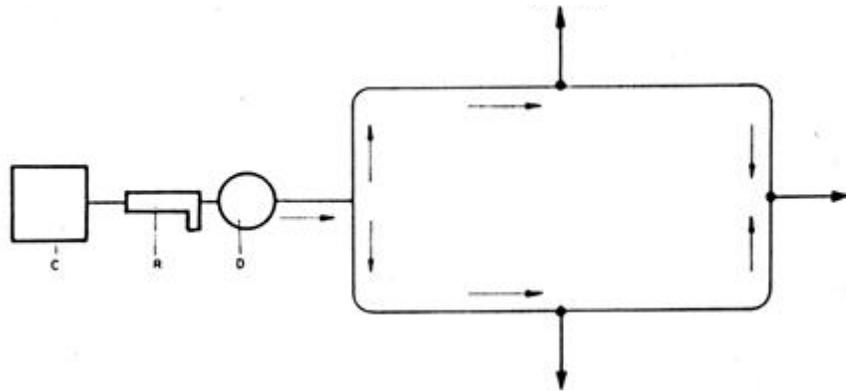
Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**

Pág. 225

2.1.2 Red Cerrada

En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en las Figura 22 y 25. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo tal como se muestra en la figura 24. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

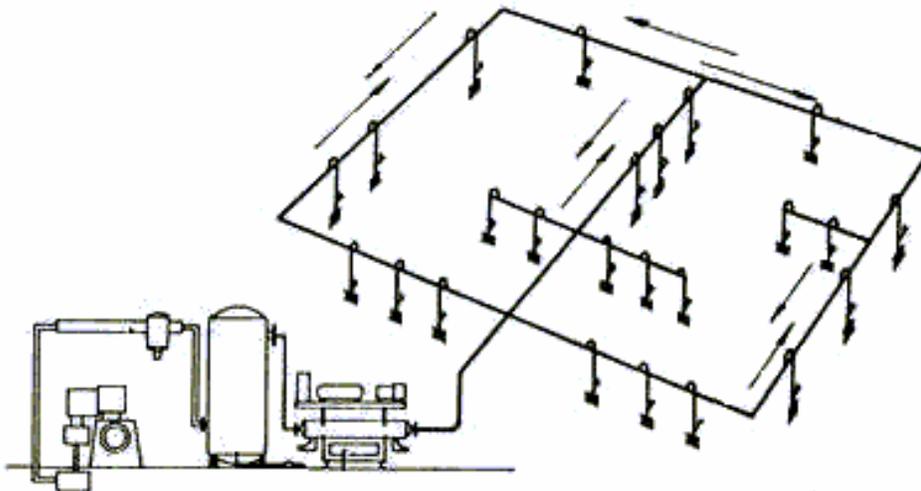
Figura 24. **Dirección del flujo en una red cerrada para una demanda característica**



Fuente: Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**
Pág. 223

Cabe anotar que otro defecto de la red cerrada es la dificultad de eliminar los condensados debido a la ausencia de inclinaciones tal como se muestra en la figura 25. Esto hace necesario implementar un sistema de secado más estricto en el sistema. Al contrario de lo pensado, *Carnicer* expone que en dichos sistemas las caídas de presión no disminuyen. Por tanto la principal razón para implementar redes cerradas es por su buen mantenimiento.

Figura 25. **Configuración cerrada y su ausencia de inclinación**



Fuente: Carnicer, E. **Aire comprimido teoría y cálculo de las Instalaciones**

Pág. 224

2.1.3 Red interconectada

Esta configuración es igual a la cerrada pero con la implementación de *by-pass* entre las líneas principales tal como se muestra en la figura 22. Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento pero requiere la inversión inicial más alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada.

2.1.4 Definición del circuito de la línea de aire comprimido

Al analizar las tres configuraciones anteriores se considera que el circuito cerrado es el más adecuado para la línea de aire comprimido a instalar, por que con este circuito se obtendrá una mejor función de las labores de mantenimiento, por que se podrá aislar determinado sector del circuito sin afectar el funcionamiento de los demás sectores y por tal motivo evitando la paralización de la planta.

2.2 Realización de Planos de líneas de aire comprimido

La primera labor de diseño de una red de aire comprimido es levantar u obtener un plano de la planta donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire anotando su consumo y presión requeridas. También identificar el lugar donde se ubicara el (los) compresor (compresores). Es importante realizar una buena labor puesto que una vez establecida la distribución esta influirá en las futuras ampliaciones y mantenimiento de la red.

Con los planos de la línea de aire comprimido se trata de establecer la ubicación exacta de la altura de la tubería, la cantidad y el posicionamiento de los accesorios necesarios (codos, tees, reductores, unidades de mantenimiento, soportes de la tubería), además de establecer la longitud de cada tramo de tubería, lo cual es de importancia para el cálculo de dimensionamiento.

Para el diseño y realización de los planos de las líneas de aire, ubicación de tuberías, accesorios, compresores, se utilizaran las siguientes recomendaciones:

- Diseñar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.
- Procurar que la tubería sea lo mas recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, tees, y cambios de sección que aumentan la pérdida de presión en el sistema.
- La tubería siempre deber ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Esto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones, fácil inspección y accesibilidad para el mantenimiento. Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación dimensional.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos y así evitar accidentes.
- En la instalación de la red deberá tenerse en cuenta cierta libertad para que la tubería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura. Si esto no se garantiza es posible que se presentes “combas” con su respectiva acumulación de agua.
- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería si soportan el nuevo caudal.
- Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evacuación de condensados.

- Para el mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso frecuentemente en la red. Con esto se evita detener el suministro de aire en la red cuando se hagan reparaciones de fugas o nuevas instalaciones.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.
- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería para evitar el descenso de agua por gravedad hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado. Un ejemplo de dicha conexión se muestra en la figura 5.

Plano de patio de compresores

Figura 26. Patio de compresores

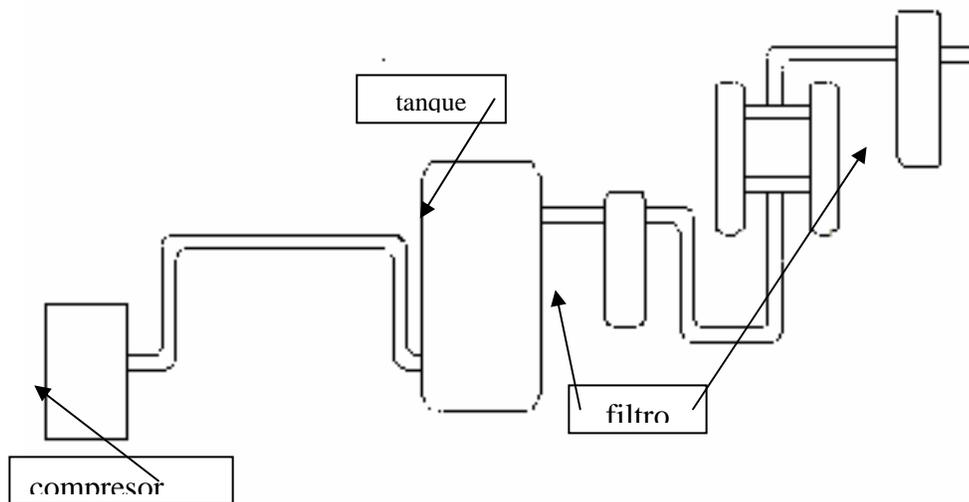


Figura 27. Plano de la línea principal y secundaria

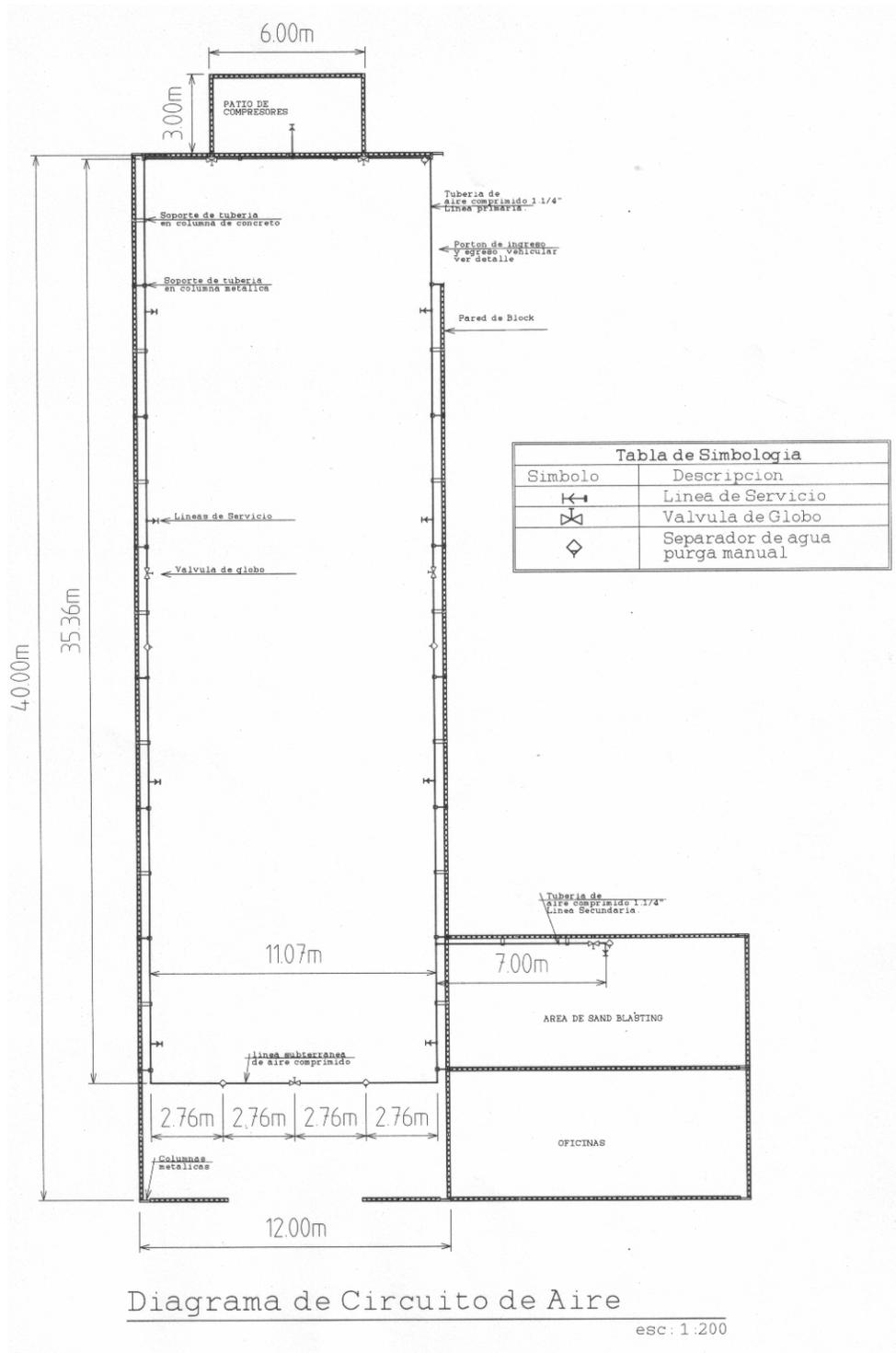
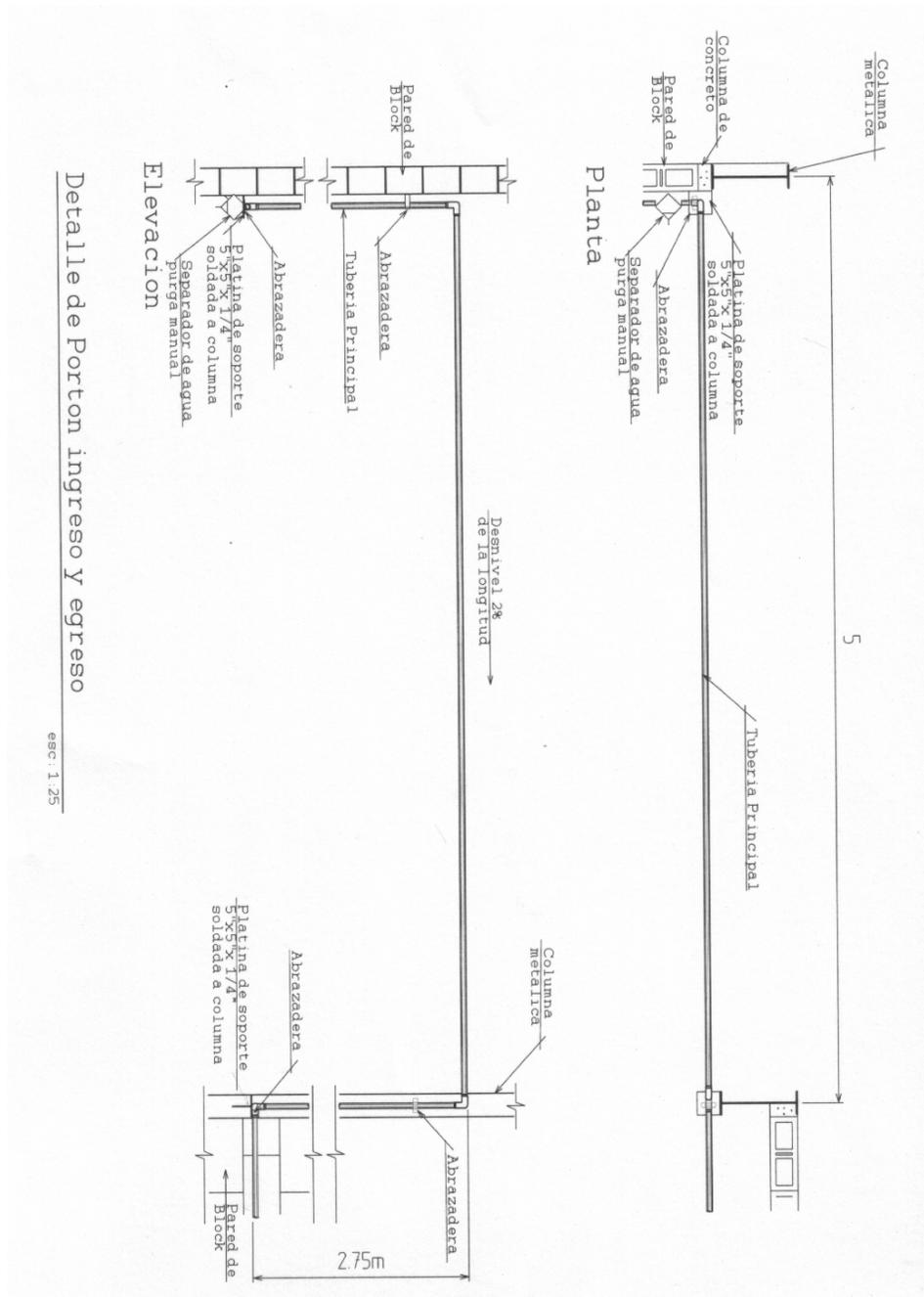


Figura 28. Detalles de línea principal



Detalle de Porton ingreso y egreso

esc: 1:25

Figura 29. Detalles de línea principal

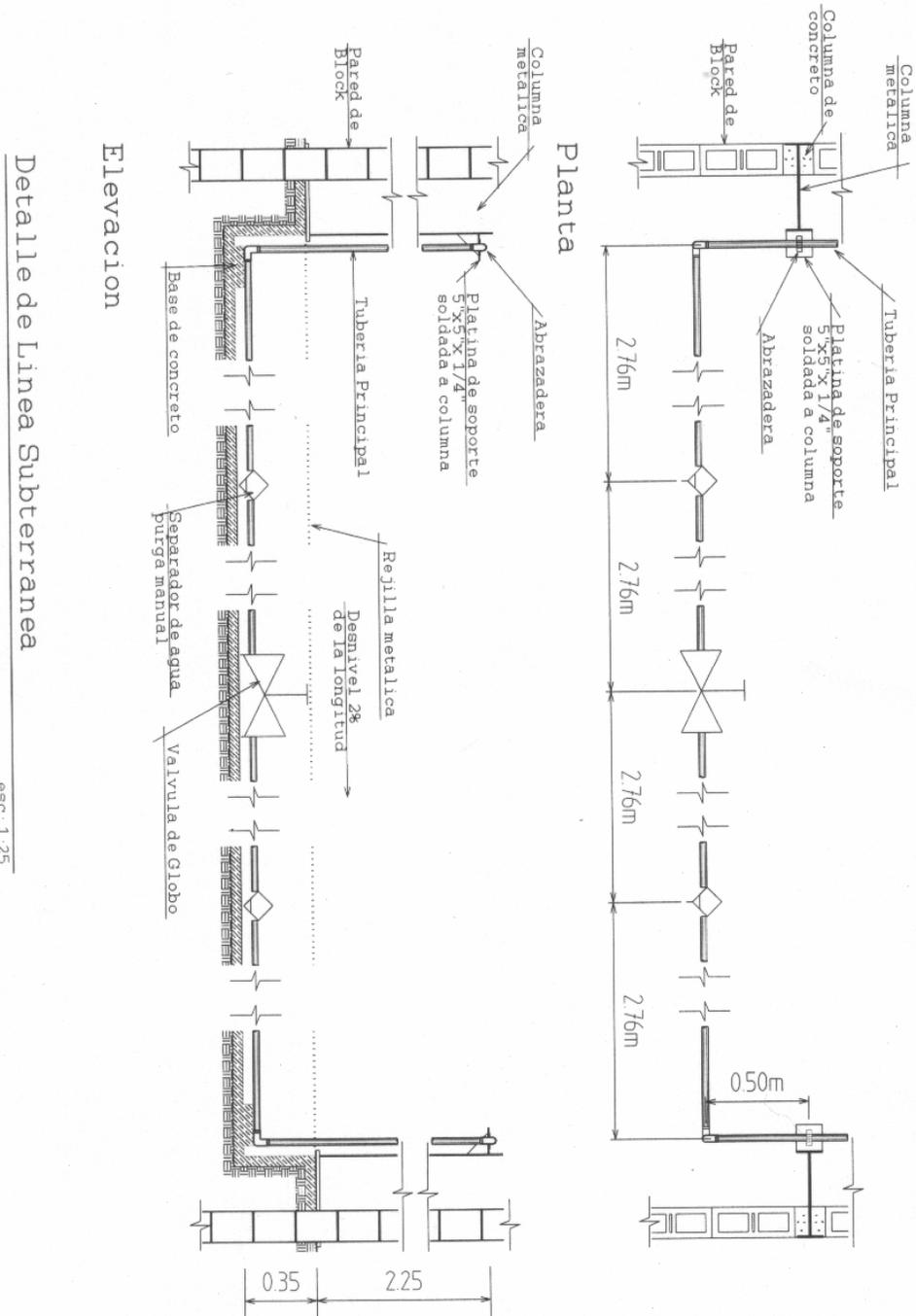
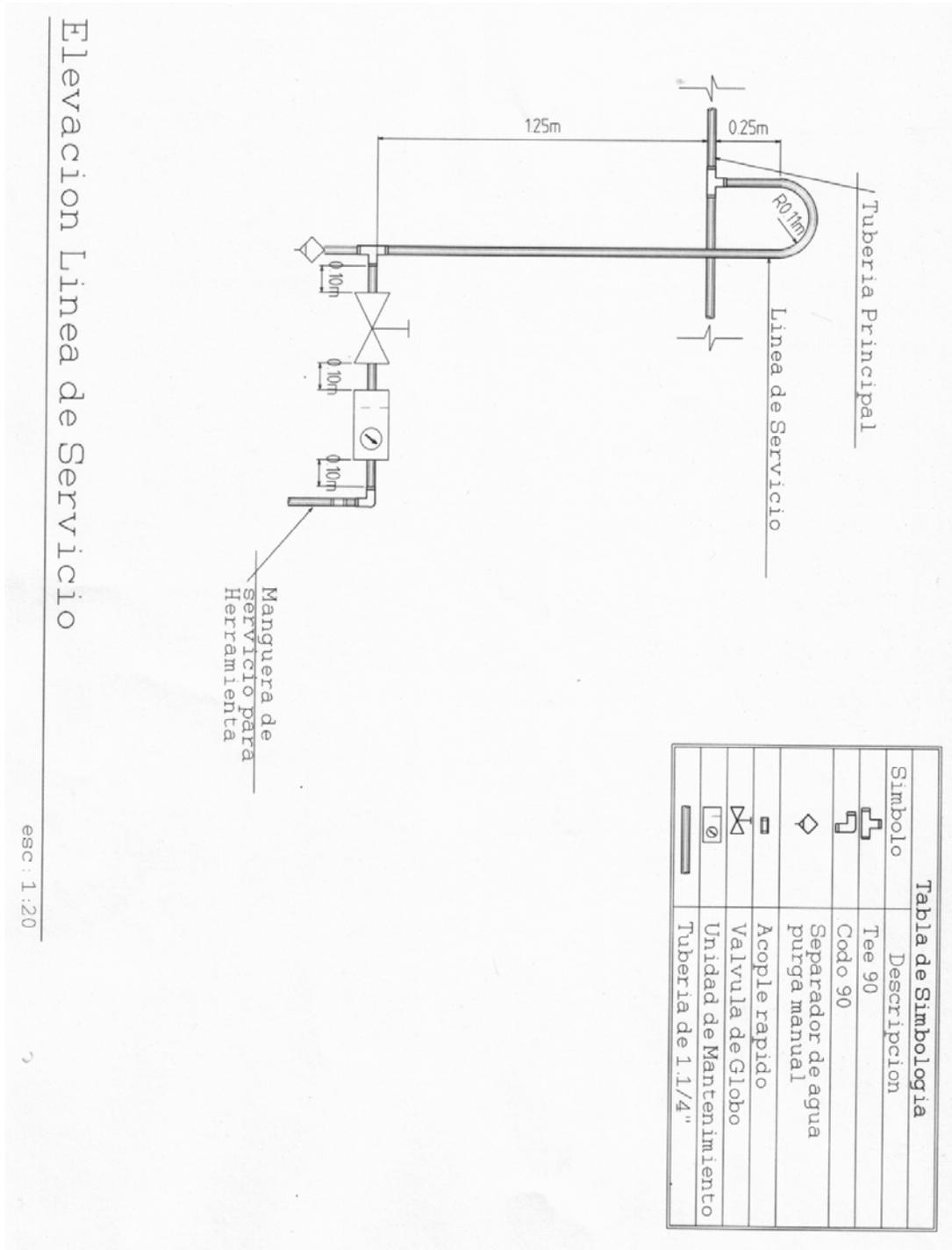


Figura 30. Planos de las líneas de servicio



2.3 Selección de tubería a utilizar

Para la selección de la tubería a ser utilizada en la línea de aire comprimido se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Tipo de tubería (principal, secundaria, de servicio)
- Presión en la tubería.

Para la elección de los materiales, tenemos diversas posibilidades: Cobre, tubo de acero negro, latón, tubo de acero galvanizado, acero fino y plástico.

Para la línea principal y secundaria: Las tuberías deben poderse desarmar fácilmente, ser resistentes a la corrosión y de precio módico.

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

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

Salvo indicaciones contrarias, se debe de escoger tubos de aceros o de acero galvanizado. Son de calidad adecuada. Por ejemplo: tubos SMS 1786 o 1886 y los tubos de presión 1787 o 1887. Los tubos para enroscar SMS 326, incluyendo los galvanizados, pueden utilizarse para juntas hasta 25mm y algunas un poco mayores. Pero es difícil sellar las juntas roscadas; con toda certeza aparecerán fugas al cabo de corto tiempo.

Para la línea de servicios, se utilizan tubos flexibles de goma, solamente han de emplearse en aquellos casos en que se exija una flexibilidad en la tubería y no sea posible instalar tuberías de plástico por los esfuerzos mecánicos existentes. Son más caros y no son tan manipulables como las tuberías de plástico. Con racores rápidos se pueden tender de forma rápida, sencilla y económica.

Al realizar un análisis acerca de las necesidades de la planta y la ubicación de la herramienta neumática, se recomienda instalar tubería galvanizadas, por ser un material resistente y económico, la tubería deberá soportar una presión mínima de 125 Psi. Estas tuberías serán roscadas con los accesorios y se utilizara teflón para crear un sello y evitar la fugas de aire, además se utilizaran uniones soldadas entre tuberías para facilitar el desmontaje de la tubería y agilizar el programa de mantenimiento.

2.4 Selección de accesorios a utilizar

En el análisis de los planos de las líneas de aire comprimido dentro de la planta podemos realizar un listado acerca de los accesorios a utilizar en dicha instalación, pudiendo evaluar únicamente la cantidad de accesorios y su tipo, no así el diámetro de los mismo, ya que estos dependerán de un cálculo de dimensionamiento de la línea de aire.

Tabla XII. **Accesorios de la línea principal**

No.	Descripción	Cantidad
1	Tees	9
2	Válvulas de globo	6
3	Secador	1
4	Unidad de mantenimiento	1
5	Codos	15
6	Purgadores separadores	5

Tabla XIII: **Accesorios de la línea secundaria**

No.	Accesorio	Cantidad
1	Tees	1
2	Válvulas de globo	1
3	Purgadores separadores	1

Tabla XIV: **Línea de distribución**

(Sumatoria de accesorios de todas las líneas de servicio)

No.	Accesorio	Cantidad
1	Purgadores separadores	8
2	Tees	8
3	Válvulas de globo	8
4	Cuellos de Cisne	8
5	Unidad de mantenimiento	8
6	Acople rápido	16
7	Manguera de 5 metros	8
8	Codos	8
9	Reductores	8

2.5 Selección de soportes para tuberías

Los soportes deben de seleccionarse de acuerdo a la arquitectura del edificio. Deberán de tener una base rígida y resistente. Por la arquitectura del edificio y la separación entre cada columna (5 mts.) el soporte que más se acopla a las necesidades de dicha instalación es la ménsula soldada (**figura 8**), ya que esta puede acoplarse tanto en la pared como en las columnas metálicas.

Este soporte permite colocar la tubería aéreamente, con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones y fácil inspección, aspectos importantes en el mantenimiento de la línea de aire.

Para la selección de la distancia entre soportes se realizara basándose en la tabla 15. En esta tabla se detalla la distancia vertical y horizontal entre cada soporte dependiendo del diámetro de la tubería, siendo el diámetro en pulgadas y la distancia entre soporte en metros.

Los soportes deben colocarse cerca de los cambios de dirección. El peso de la tubería no debe cargarse a los cuerpos de válvulas.

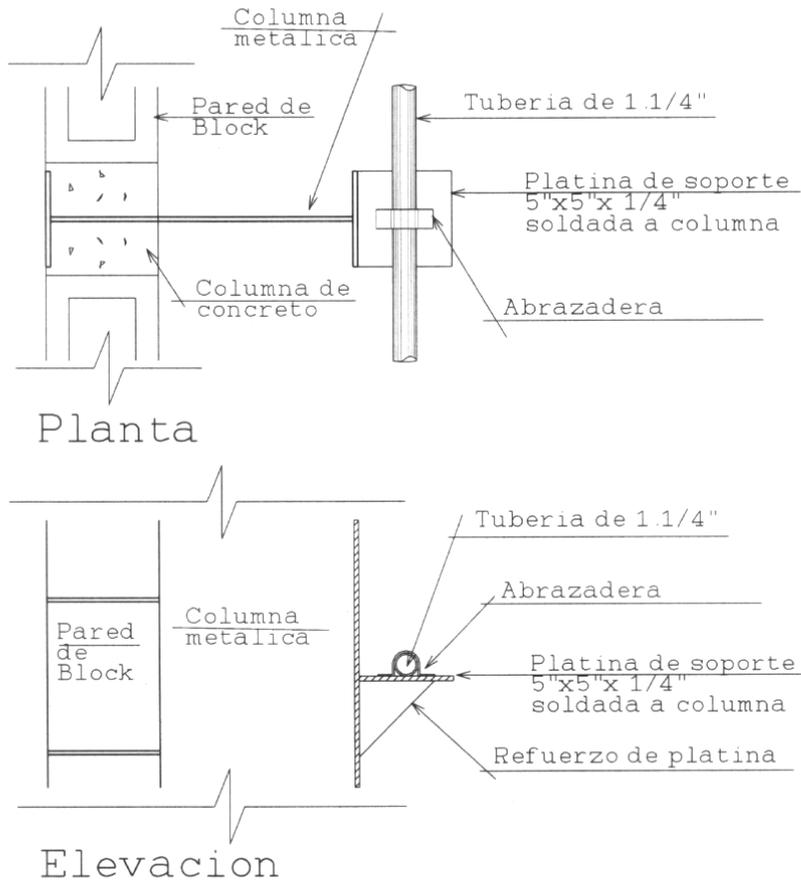
Tabla XV: **Longitud de soporte de tubería**

DIÁMETRO DE TUBERIA	HORIZONTAL (m)	VERTICAL (m)
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

Fuente: Rosales, Robert C., Manual de Mantenimiento Industrial
Pág. 97

En la figuras 31 – 32 se ilustran los dos tipos de soportes que se utilizaran dependiendo de la ubicación de las mismas, sobre la estructura metálica o sobre la pared, ilustrando su planta y elevaciones con la medidas necesarias para su fabricación.

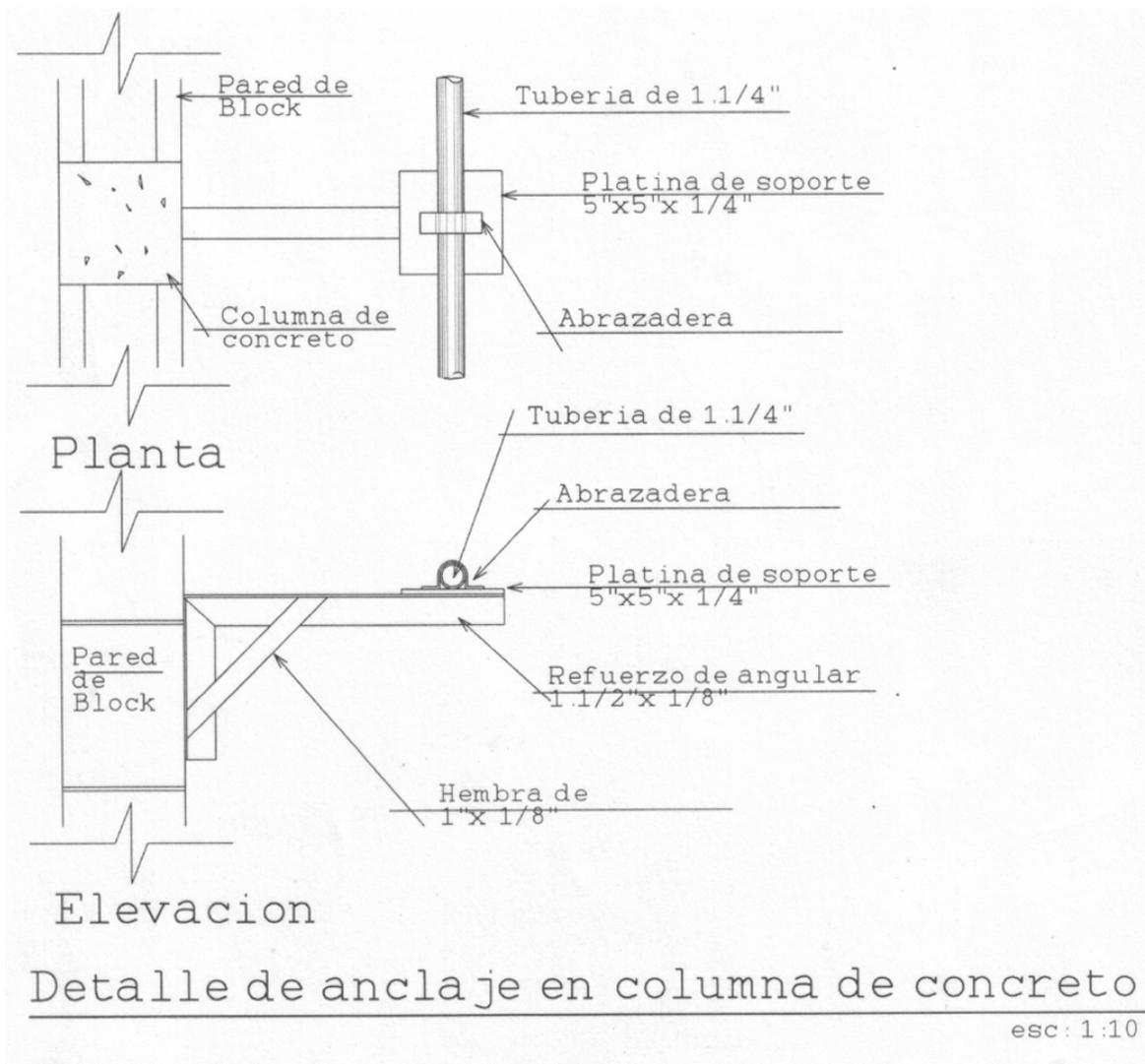
Figura 31. Soporte de tubería en columna metálica



Detalle de anclaje en columna metálica

esc: 1:10

Figura 32. Soporte de tubería en columna de concreto



2.6 Cálculo de la demanda de presión y caudal

La presión y el caudal son dos variables importantes de establecer para el dimensionamiento de la línea de tubería y para el cálculo de la caída de presión admisible (pérdidas) en el sistema.

Para calcular la demanda de presión se debe de sumar la presión prescrita a la herramienta, la caída de presión que se presentara en la línea y los accesorios, obteniendo así la presión al inicio de la línea principal.

$$P_2 = P_1 + P$$

P_2 = Presión demandada en Psi.

P_1 = Presión de la herramienta en Psi. (La mayor).

P = Caída de presión admisible en la línea en Psi. (3 al 6%).

$$P_2 = 100.9 + 100.9 * 6\%$$

$$P_2 = 100.9 + 6.05$$

$$P_2 = 106.95 \text{ Psi.}$$

Para determinar el flujo máximo necesario en el sistema de aire comprimido se debe elaborar un listado de la maquinaria neumática a utilizar en la planta y sumarle los % recomendados por desgaste, pérdidas y futuras ampliaciones.

Tabla XVI: **Cálculo del caudal total de la línea de aire**

No.	Equipo	Cant.	Consumo Unitario (CFM)	Consumo Total (CFM)
1	Equipo de sand-blasting	1	10	10
2	Esmeriladoras neumáticas	2	6.5	13
3	Martillo neumático	1	3.4	3.4
4	Pistolas de limpieza	4	1.5	6
5	Necesidad de aire		21.4	32.4
6	Desgaste 5%			1.62
7	Fugas 10%			3.24
8	Expansión 30%			9.72
	TOTAL			46.98

2.7 Cálculo de la longitud de las tuberías

El cálculo de la longitud de la tubería de aire comprimido se realizara a través del análisis de los planos de la línea de aire. A través de este análisis estableceremos la longitud de cada línea (principal, secundaria y de servicio) y por lo tanto la longitud de todo el circuito de aire comprimido.

Tabla XVII. **Longitudes de las líneas de aire**

No-	Línea de aire	Longitud unitaria (m)/(pies)	Longitud total (m)/(pies)
1	Principal		109.56 / 359.36
2	Secundaria		7.22 / 22.96

3	De servicio (8 tomas)	2.5 / 8.20	20 / 65.6
	TOTAL		136.56 / 447.92

2.8 Cálculo de pérdidas

La pérdida de presión permisible esta comprendida entre el 3 – 6% de la presión. Esta se obtiene de la sumatoria de las pérdidas de presión de cada línea de aire mas las caídas de presión establecidas en los demás accesorios.

Para la determinación de la pérdidas de presión, se debe determinar primero:

- La longitud de la tubería recta hasta el punto más lejano.
- Tipos de accesorios utilizados y la cantidad (convertida a longitud equivalente de tubería).
- Utilicé un \emptyset arbitrario para el cálculo de la caída de presión.

Para el cálculo de las pérdidas de presión de deben de aplicar las fórmulas 3, 4, 5, 6 y utilizar la tabla 9.

Longitud equivalente = Longitud de tubería + Longitud por accesorios. **(f. 3)**

$(P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
 (lb/plg²) **(f. 4)**

$R = (P. \text{ De las instalaciones} + P. \text{ Manométrica}) / (P. \text{ Manométrica}).$
(f. 5)

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}} \quad (\text{f. 6})$$

2.9 Cálculo para el dimensionamiento de tuberías y accesorios

Para el cálculo del dimensionamiento de tuberías y accesorios se debe de seguir el procedimiento descrito en el apartado 2.7 además de utilizar la tabla VII. para el cálculo de longitudes equivalente de los accesorios. Y la suma de caída de presión ocasionada por accesorios.

Tabla XVIII: **Caídas de presión de accesorios**

Accesorio	P (bar / Psi)
Secador frigorífico	0,18 / 2.6
Secador absorción	0,30 / 4.35
Separadores cerámicos	0,10 / 1.45

Fuente: Rosales, Robert C., Manual de Mantenimiento Industrial
Pág. 155

Cálculo línea primaria

Se utilizara la fórmula:

$$P = \frac{\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}}{\text{Factor de tubería (R)} * 1000} \text{ (lb/plg}^2\text{)}$$

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 1" y Q = 50.00 CFM el aproximado superior de 46.98 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 54.4

Tabla XIX Sumatoria de longitudes línea principal con Ø = 1”

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	359.36	
2	Válvula de Globo	6		174.6
3	Tees	9		9.45
4	Filtro separador	5		65.6
5	Codos	15		39.3
6	Longitud parcial		359.36	288.95
	Longitud Total			648.31

Factor de tubería R con la fórmula:

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica)/(P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

$$P = ((54.4) * (648.31)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = 35268.06 / 6780$$

$$P = 5.20 \text{ Psi.}$$

Cálculo línea secundaria

Se utilizara la fórmula:

$$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$$

(lb/plg²)

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 1" y Q = 10.00 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 2.2

Tabla XX **Sumatoria de longitudes línea secundaria con Ø = 1"**

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	22.96	
2	Válvula de Globo	1		29.1
3	Tees	1		1.05
4	Filtro separador	1		13.12
5	Longitudes parciales		22.96	43.27
	Longitud Total			66.23

Factor de tubería R con la fórmula

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica)/(P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

$$P = ((2.2) * (66.23)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = 145.70 / 6780$$

$$P = 0.02 \text{ Psi.}$$

Cálculo línea de distribución

Se utilizara la fórmula

$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 1/2" y Q = 10.00 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 50.7

Tabla XXI **Sumatoria de longitudes línea de distribución con Ø = 1/2"**

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	8.2	
2	Válvula de Globo	1		17.3
3	Tees	1		0.62
4	Cuello de cisne	1		4.27
5	Filtro separador	1		6.56
6	Reductor	1		0.66
7	Codo	1		1.55
	Longitud parcial		8.2	30.96
	Longitud Total			39.16

Factor de tubería R con la fórmula:

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica) / (P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000) \\ (\text{lb/plg}^2)$$

$$P = ((50.7) * (39.16)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = 1986.43 / 6780$$

$$P = 0.29 \text{ Psi.}$$

$$P = \Delta P_{\text{principal}} + \Delta P_{\text{secundaria}} + \Delta P_{\text{de servicio}} + \Delta P_{\text{secador}}$$

$$P = 5.2 + 0.02 + 0.29 + 2.6$$

$$P = 8.11 \text{ Psi.}$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}} \quad (\text{F. 1.6})$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = (8.11 * 100) / (106.95)$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = 7.58 \%$$

Cálculo línea primaria

Se utilizara la fórmula:

$$(P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000))$$

(lb/plg²)

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 1 ¼" y Q = 50.00 CFM el aproximado superior de 46.98 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 12.6

Tabla XXII. **Sumatoria de longitudes línea principal con Ø = 1 1/4"**

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	359.36	
2	Válvula de Globo	6		229.8
3	Tees	9		12.42
4	Filtro separador	5		82.5
5	Codos	15		51.75
6	Longitud parcial		359.36	376.44
	Longitud Total			735.8

Factor de tubería R con la fórmula:

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica)/(P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

$$P = ((12.6) * (735.8)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = 9271.08 / 6780$$

$$P = 1.36\text{Psi.}$$

Cálculo línea secundaria

Se utilizara la fórmula:

$(P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 1" y Q = 10.00 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 0.5

Tabla XXIII. **Sumatoria de longitudes línea secundaria con Ø = 1 1/4”**

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	22.96	
2	Válvula de Globo	1		38.3
3	Tees	1		1.38
4	Filtro separador	1		16.5
5	Longitudes parciales		22.96	56.18
	Longitud Total			79.14

Factor de tubería R con la fórmula

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica)/(P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$(P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

$$P = ((0.5) * (79.14)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = / 6780$$

$$P = 0.0058 \text{ Psi.}$$

Cálculo línea de distribución

Se utilizara la fórmula

$$P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$$

(lb/plg²)

Factor de pérdida, con los siguientes datos:

Con un diámetro arbitrario de 3/4" y Q = 10.00 CFM en la tabla 6 se encuentra un factor de 7.8

Tabla XXIV. **Sumatoria de longitudes línea de distribución con Ø = 3/4"**

No	Descripción	Cantidad	Longitud Pies	Longitud Equivalente Pies
1	Tubería	1	8.2	
2	Válvula de Globo	1		22.9
3	Tees	1		0.82
4	Cuello de cisne	1		6.56
5	Filtro separador	1		9.84
6	Reductor	1		1.31
7	Codo	1		2.06

	Longitud parcial		8.2	43.49
	Longitud Total			51.69

Factor de tubería R con la fórmula:

Para obtener la relación de compresión en la entrada de la tubería, se utilizan el valor menor y el valor mayor de rango de presiones, las cuales son de 85 y 100.9 Psi.

Factor de tubería (R) = (P. De las instalaciones + P. Manométrica) / (P. Manométrica).

$$R = (85 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 6.78$$

$$R = (100.9 + 14.7) / 14.7$$

$$R = 7.86$$

$(P = (\text{Factor de pérdida (F)} * \text{Long. Equivalente}) / (\text{Factor de tubería (R)} * 1000)$
(lb/plg²)

$$P = ((7.8) * (51.69)) / ((6.78) * 1000)$$

$$P = 403.18 / 6780$$

$$P = 0.059 \text{ Psi.}$$

$$P = \Delta P_{\text{principal}} + \Delta P_{\text{secundaria}} + \Delta P_{\text{de servicio}} + \Delta P_{\text{secador}}$$

$$P = 1.36 + 0.0058 + 0.059 + 2.6$$

$$P = 4.0248 \text{ Psi.}$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = \frac{\text{Pérdida de presión} * 100}{\text{Presión de la instalación}} \quad (\text{F. 1.6})$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = (4.0248 * 100) / (106.95)$$

$$\% \text{ de pérdida de presión} = 3.76\%.$$

Al analizar 7.58% de pérdidas obtenido con los diámetros de 1" para la tubería principal y secundaria y de ½" para la tubería de servicios y compararla con el 3.76% de pérdidas ocasionadas con tubería de 1 ¼" para tubería principal y tubería secundaria y de ¾" para tubería de servicio, se puede observar que el segundo dimensionamiento se mantiene dentro de los valores aceptables de caída de presión, y es esta opción la que da un porcentaje de caída de presión menor.

2.10 Selección del compresor a utilizar

Al momento de elegir el tipo de compresor a utilizar se deben de tener en cuenta varios aspectos, como el caudal, presión, según los datos obtenidos después de los cálculos respectivos, accionamiento, regulación, refrigeración, lugar de emplazamiento, tamaño del acumulador de aire comprimido, obtenido de las características de los compresores encontrados en el mercado y estandarizados, datos muy importantes para determinar el compresor mas adecuado a las necesidades de la planta.

Esta tabla será llenada de acuerdo a los datos obtenido en los apartados anteriores y dependiendo del área donde será ubicado el compresor.

Tabla XXV. Datos para la selección del compresor,

SELECCIÓN DE COMPRESOR						
Caudal Pie ³ /min. (CFM)	46.98		Presión Lbs/Plg. (Psi)	100.9	Volumen del acumulador m ³	0.5
Acciona- miento	Motor Eléctrico	Motor de combustión interna	Regulación	Marcha en vacío	Carga parcial	Por intermitencia
	X					X
Lugar de Emplaza- miento	Dentro de planta	Fuera de planta	Refrigera- ción	Aletas	Aletas y ventilador	Sistema de refrigera- ción
		X			X	

CONCLUSIONES

1. Para el diseño de una línea de aire comprimido se debe conocer todos los componentes que la conforman, lo cual permitirá que se puedan usar todos los elementos disponibles.
2. El aumento del diámetro de una tubería, provoca una disminución en la caída de presión de una red de aire comprimido. Por tal razón se debe de calcular el diámetro óptimo para evitar una gran caída de presión debido al reducido diámetro de la tubería y accesorios o un alto costo debido a la utilización de una tubería y accesorios sobre dimensionados
3. La elaboración de planos para la instalación de la línea de aire comprimido es un principio básico para el buen dimensionamiento de la línea. Ello permitirá seleccionar los lugares adecuados para los diferentes elementos de la línea de aire.
4. Que de la selección correcta del diámetro de la tubería, permitirá una caída de presión aceptable, optimizando el uso de la herramienta

5. Que es necesaria la colocación de purgadores-separadores, para mantener la tubería de aire comprimido libre de condensado, evitando la corrosión en la tubería, el golpe de ariete y el buen funcionamiento de la herramienta al prevenir que el condensado elimine el lubricante que utiliza la herramienta.

RECOMENDACIONES

Al jefe de mantenimiento

1. Conocer con claridad el consumo de cada uno de los equipos a utilizar en la planta, para poder realizar un diseño adecuado.
2. Instalar válvulas de paso, que permitan la independencia de los ramales, al momento de realizar mantenimientos.
3. Realizar inspecciones periódicas para verificar el buen funcionamiento del sistema.

Al personal de la planta

4. No dejar tuberías flexibles (mangueras) tiradas en el suelo ya que éstas pueden ser dañadas y ocasionar pérdidas imperceptibles.
5. Revisar de manera periódica las unidades de mantenimiento con el fin de evitar el mal funcionamiento en el filtro de la unidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Avallone, Eugene A. Y Theodore Baumeister III. **Manual del Ingeniero Mecánico**, 3ra Ed. México D.F., Ed. McGraw-Hill, S.A.
2. Carnicer, E., **Aire Comprimido Teoría y Cálculo de las Instalaciones**. Barcelona, Ed. Gustavo Gili S.A., 1977. Pág. 224.
3. Juárez Pizza, Pedro Antonio, **Diseño, montaje y mantenimiento de sistemas de aire comprimido**, Tesis ingeniería Mecanica Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 82pp.
4. López Coronado, William Antonio, **Diseño, montaje y prueba en marcha de una red de aire comprimido para un taller de prensas**: Tesis Ingenieria Mecanica Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1997. 73pp.
5. Pérez, Carlos H., **Manual Laboratorio Neumático**. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2001.
6. Rosales, Robert C., **Manual de Mantenimiento Industrial**. México D.F. Ed. McGraww-Hill, 1987.