



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE
AIRE COMPRIMIDO PARA EL LABORATORIO
DE AUTOMATIZACIÓN Y NEUMÁTICA EN LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA
FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”**

EDGAR RUBÉN TOASA ALPAPUCHO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

RIOBAMBA – ECUADOR

2014

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2014-02-13

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

EDGAR RUBEN TOASA ALPAPUCHO

Titulada:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO
PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y NEUMÁTICA EN LA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE
MECÁNICA - ESPOCH”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO INDUSTRIAL

Ing. Marco Santillán Gallegos
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Elvis Arguello
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Jhonny Orozco Ramos
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: EDGAR RUBÉN TOASA ALPAPUCHO

TÍTULO DE LA TESIS: “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA EL LABORATORIO DE AUTOMATIZACIÓN Y NEUMÁTICA EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA FACULTAD DE MECÁNICA - ESPOCH”

Fecha de Examinación: 2014-12-11

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Elvis Arguello DIRECTOR DE TESIS			
ING. Jhonny Orozco Ramos ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Edgar Rubén Toasa Alpucho.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por darme salud y sabiduría, a mi familia por su apoyo incondicional y por la confianza brindada en todas las decisiones de mi vida.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Industrial, por brindarnos la oportunidad de obtener una profesión y ser personas útiles a la sociedad.

Y en especial para todos los amigos, compañeros y personas que nos apoyaron de una u otra manera para culminar con éxito una etapa de nuestras vidas.

Edgar Rubén Toasa Alpapucho.

DEDICATORIA

Primeramente a dios por su infinita bondad y amor y haberme permitido llegar hasta este punto.

A mi madre por haberme apoyado en todo momento, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor. A mi padre por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor y a todos aquellos que ayudaron directa o indirectamente a realizar este documento.

A mis maestros por su gran apoyo y motivación para la culminación de mis estudios profesionales, por su apoyo ofrecido en este trabajo, por haberme transmitido los conocimientos obtenidos y haberme llevado pasó a paso en el aprendizaje.

Edgar Rubén Toasa Alpucho

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	
2.1 Introducción	4
2.2 Evolución histórica del aire comprimido.....	4
2.3 Ventajas y desventajas del aire comprimido.....	4
2.4 Fundamentos físicos del aire.....	5
2.4.1 <i>Características</i>	5
2.4.2 <i>El flujo</i>	6
2.4.3 <i>El caudal</i>	7
2.4.4 <i>Presión</i>	8
2.4.5 <i>Humedad del aire</i>	9
2.4.6 <i>Punto de rocío</i>	9
2.4.6.1 <i>Como determinar el punto de rocío</i>	10
2.5 Tratamiento del aire comprimido	12
2.5.1 <i>Generalidades</i>	12
2.5.2 <i>Calidad del aire comprimido</i>	12
2.5.3 <i>Separación del agua</i>	14
2.5.4 <i>Tipos de secadores</i>	14
2.5.4.1 <i>Secado por absorción</i>	14
2.5.4.2 <i>Secado por adsorción</i>	15
2.5.4.3 <i>Secado en frío</i>	15
2.5.4.4 <i>Secado por membrana</i>	17
2.5.4.5 <i>Filtración</i>	17
2.5.4.6 <i>Clasificación de los filtros</i>	17
2.5.4.7 <i>Principios funcionales de los filtros</i>	18
2.5.4.8 <i>Observaciones sobre los filtros</i>	19
2.5.4.9 <i>Elección de los filtros en función de su aplicación</i>	20
2.5.5 <i>Válvulas reguladoras de presión</i>	22
2.5.5.1 <i>Funcionamiento</i>	22
2.5.6 <i>Lubricadores de aire comprimido</i>	24
2.5.6.1 <i>Principio de funcionamiento del lubricador</i>	24
2.5.6.2 <i>Recomendaciones con la lubricación</i>	25
2.6 Generación del aire comprimido	25
2.6.1 <i>Compresor</i>	26
2.6.2 <i>Tipos de compresores</i>	26
2.6.2.1 <i>Compresores de desplazamiento positivo</i>	26
2.6.2.2 <i>Compresores rotativos de lóbulos</i>	26
2.6.2.3 <i>Compresores rotativos de tornillos</i>	27
2.6.2.4 <i>Compresor rotativo de paletas</i>	27
2.6.2.5 <i>Compresores alternativos</i>	28
2.6.2.6 <i>Compresores dinámicos</i>	29
2.6.2.7 <i>Compresores centrífugos</i>	29
2.6.2.8 <i>Compresores axiales</i>	29
2.6.3 <i>Selección del compresor</i>	30

2.7	Distribución de la red de aire comprimido	31
2.7.1	<i>Recomendaciones generales.</i>	31
2.7.2	<i>Trazados de la red de aire comprimido</i>	31
2.7.2.1	<i>Trazado o circuito en bucle abierto.</i>	31
2.7.2.2	<i>Inclinación de la red.</i>	32
2.7.2.3	<i>Restablecimiento del nivel inicia.</i>	32
2.7.2.4	<i>Forma de las tomas de presión.</i>	33
2.7.2.5	<i>Curvatura.</i>	33
2.7.2.6	<i>Trazado o circuito en bucle cerrado.</i>	34
2.8	Dimensionamiento de la red	34
2.8.1	<i>Presión de funcionamiento de la red de aire comprimido.</i>	34
2.8.1.1	<i>Baja presión.</i>	34
2.8.1.2	<i>Media presión.</i>	35
2.8.1.3	<i>Alta presión</i>	35
2.8.2	<i>Perdidas de presión.</i>	35
2.8.3	<i>Caudal necesario para la instalación.</i>	36
2.8.4	<i>Material de la tubería.</i>	38
2.8.5	<i>Longitud de la tubería.</i>	39
2.8.6	<i>Diámetro de la tubería.</i>	39
2.8.7	<i>Cilindros neumáticos.</i>	41
2.8.7.1	<i>Diámetros de cilindros neumáticos</i>	41
2.8.7.2	<i>Micro cilindros.</i>	41
2.8.7.3	<i>Cilindros reparables.</i>	41
3.	DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	
3.1	Determinación del punto de rocío en la localidad	42
3.1.1	<i>Humedad relativa de la localidad</i>	42
3.1.2	<i>Temperatura en la localidad.</i>	42
3.1.2.1	<i>Presión de saturación.</i>	42
3.1.3	<i>Calculo de la cantidad de agua</i>	43
3.1.4	Punto de rocío en la ciudad de Riobamba	43
3.2	Calidad de aire para la red	43
3.2.1	<i>Determinación de la calidad de aire para la red.</i>	43
3.3	Presión de funcionamiento de la red	44
3.4	Selección de la unidad de mantenimiento	45
3.5	Trazado de la red de aire comprimido	45
3.6	Calculo del caudal necesario para la red de aire comprimido	46
3.6.1	<i>Datos planteados para el cálculo del consumo de un cilindro.</i>	46
3.6.1.1	<i>Diámetro del embolo.</i>	46
3.6.1.2	<i>Diámetro del vástago.</i>	46
3.6.1.3	<i>Carrera del vástago</i>	46
3.6.1.4	<i>Ciclos realizados.</i>	47
3.6.2	<i>Calculo del consumo de aire para un cilindro neumático.</i>	47
3.6.3	<i>Calculo del consumo de aire total de la red.</i>	48
3.7	Selección del material de la tubería	48
3.8	Determinación del diámetro de la tubería y pérdidas de presión	49
3.8.1	<i>Diámetro ficticio de la tubería.</i>	49
3.8.2	<i>Diámetros útiles para la red de aire comprimido.</i>	50
3.9	Selección del compresor	50
3.9.1	<i>Pre selección del compresor.</i>	51
3.9.2	<i>Selección final del compresor.</i>	51
3.9.3	<i>Utilización.</i>	52

4.	PLAN DE MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	
4.1	Plan de mantenimiento de la red de aire comprimido.....	53
4.1.1	<i>Descripción y situación actual de la red de aire comprimido..</i>	53
4.1.2	<i>Instalación y ubicación del compresor..</i>	53
4.1.2.1	<i>Ubicación de la toma de aire..</i>	54
4.1.2.2	<i>Tomas de aire exterior..</i>	55
4.1.3	<i>Gestión de mantenimiento de la red de aire comprimido.</i>	58
4.1.3.1	<i>Política de mantenimiento de la red de aire comprimido.....</i>	58
4.1.3.2	<i>Metas del mantenimiento de la red de aire comprimido.....</i>	58
4.1.3.3	<i>Responsables del mantenimiento de la red de aire comprimido.....</i>	58
4.1.4	<i>Documentos para la Gestión de Mantenimiento.....</i>	58
4.1.4.1	<i>Codificación de equipos.....</i>	59
4.1.4.2	<i>Registro del equipo..</i>	60
4.1.4.3	<i>Historial del equipo.</i>	60
4.1.4.4	<i>Solicitud de trabajo de mantenimiento.</i>	60
4.1.4.5	<i>Plan de mantenimiento.....</i>	60
4.2	Recomendaciones de operación	60
4.2.1	<i>Descripción de equipos</i>	60
4.2.1.1	<i>Compresor.</i>	60
4.2.1.2	<i>Filtro-regulador.....</i>	61
4.2.1.3	<i>Filtro coalescente.....</i>	61
4.2.1.4	<i>Red de tuberías.....</i>	61
4.2.2	<i>Pasos recomendados para la utilización del aire comprimido.....</i>	62
5.	ESTUDIO ECONÓMICO	
5.1	Costos.....	63
5.1.1	<i>Los costos directos.....</i>	63
5.1.1.2	<i>Costos de mano de obra directa.....</i>	65
5.1.2	<i>Los costos indirectos.....</i>	65
5.1.3	<i>Costo total de proyecto.....</i>	66
5.2	Guía para el ahorro de energía en la red de aire comprimido	66
5.2.1	<i>Generalidades.....</i>	66
5.2.2	<i>Gastos en una instalación de aire comprimido.....</i>	66
5.2.3	<i>Medidas para el ahorro de la energía en nuestro sistema de aire comprimido.....</i>	67
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	69
6.2	Recomendaciones	70

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Presión de saturación en función de la temperatura	10
2 Clasificación del aire	13
3 Características del aire según su aplicación.....	14
4 Contenido máximo de vapor de agua en función de la temperatura.....	14
5 Aplicaciones para una correcta elección de filtros	21
6 Calidad del aire requerido para laboratorios.....	44
7 Parámetros planteados para selección del material.....	48
8 Perdidas de presión para diámetros de 12, 18, 23 milímetros	50
9 Parámetros analizados para la selección del compresor	51
10 Códigos de los equipos de la red de aire.....	59
11 Costos de materiales y equipos	63
12 Costos materiales indirectos	65
13 Mano de obra indirecta	65
14 Otros indirectos.....	66
15 Costo total de proyecto.	66
16 Medidas para el ahorro de la energía	68

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Tipos de flujo	6
2 Flujos sin fricción	7
3 Representación gráfica de los márgenes de presión del aire	8
4 Diagrama de Mollier	11
5 Sistema de secado por absorción	15
6 Sistema de secado por adsorción	16
7 Sistema de secado por enfriamiento	16
8 Secador de membrana	17
9 Filtro ciclónico	19
10 Esquema para la ubicación de filtros en función de sus aplicaciones	20
11 Regulador con taladro de escape	23
12 Regulador sin taladro de escape	24
13 Principio Venturi	24
14 Dirección del flujo	25
15 Tipos de compresores	26
16 Compresor de lóbulos	27
17 Compresor de tornillos	27
18 Compresor de tornillos	28
19 Instalación de aire comprimido	28
20 Compresor de tornillos	29
21 Compresor de axial	29
22 Selección del compresor	30
23 Restablecimiento del nivel inicia	32
24 Forma de toma de presión y toma de purga	33
25 Curvatura en una red de distribución	33
26 Monograma para determinar las pérdidas de presión	36
27 Longitud de la tubería	39
28 Diámetro de la tubería	40
29 Admisión de aire en el cuarto de máquinas y sótano	54
30 Toma de aire exterior	54
31 Toma de aire exterior	55
32 Ubicación para toma de aire exterior	55
33 Ubicación para sala del compresor	56
34 Tubos de admisión y salida en el mismo conducto.	56
35 Características de tubos de entrada de aire	57
36 Gastos de una instalación de aire comprimido	67

LISTA DE ANEXOS

A	Humedad relativa en Riobamba
B	Temperatura en la ciudad de Riobamba
C	Tabla de comparación para selección de material de la tubería
D	Determinación de las pérdidas de presión
E	Preselección del compresor
F	Tabla de comparación con 4 tipos de compresores útiles para la red
G	Datos técnicos del compresor
H	Registro de los equipos
I	Plan de mantenimiento
J	Codificación de los elementos del compresor
K	Manual de instrucciones del compresor
L	Pasos para la utilización de la red

RESUMEN

Se ha diseñado e implementado una red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la escuela de ingeniería industrial de la facultad de mecánica – Espoch, con la finalidad de proporcionar a dichos laboratorios aire comprimido como fuente de energía con la suficiente presión la cual fue determinada en base a los procedimientos didácticos que se realizaran en cada módulo, caudal necesario tomando en cuenta posibles ampliaciones futuras con un límite máximo de fugas y calidad de aire requerido mediante la utilización de filtros capaces de retener partículas y humedad en tamaño y cantidades adecuadas para garantizar el correcto funcionamiento de las unidades consumidoras

El diámetro de la tubería fue seleccionado empleando dos procesos, el primero fue emplear una ecuación para determinar un diámetro ficticio utilizando únicamente la longitud de la tubería, para después partir de este diámetro y poder determinar el diámetro de tubería que presente máximo 0,1 bar en pérdidas de presión utilizando la longitud equivalente de tubería presentada por la fricción de los distintos accesorios a más de la longitud de la tubería utilizada en el primer caso.

Con la determinación de estos parámetros se garantiza el correcto funcionamiento de la red de aire comprimido quedando lista para ser utilizada en las distintas actividades didácticas que se requieran

Se recomienda seguir los procedimientos de operación y mantenimiento con la finalidad de conservar los distintos equipos y evitar daños en las personas que se encuentra utilizando la red.

Palabras claves: Aire comprimido, Calidad, Energía, Fugas, Tubería.

ABSTRACT

It has designed and implemented a compressed air network for the automation and pneumatic laboratory at “Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica of ESPOCH”, in order to provide energy through compressed air for its laboratories with sufficient pressure, which was determined and based on the didactic procedures that will be performed in each module, required flow taking into account possible future extensions to a maximum of leaks and air quality required by the use of filters able to retain moisture and particle size and quantity appropriate to ensure the proper functioning of consumer units.

The pipe diameter was selected using two processes: First it used an equation to determine only a fictitious diameter of the pipe by using its length, and then from this diameter to determine the pipe diameter which presents as maximum 0.1 bar of pressure losses using the equivalent length of pipe by the friction of the various accessories, over the length of the piping used in the first case.

With these parameters determining the correct functioning of the compressed air being ready to be used in different educational activities that are required.

It recommends to take into account the operating procedures and maintenance in order to preserve the different equipments and prevent damage in people who are using the network.

Keywords: Compressed Air, Quality, Energy, Leaks, Pipe.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela de Ingeniería Industrial se crea el 22 de junio de 1999 con el objetivo de formar profesionales líderes en sistemas de producción, capaces de analizar y especificar componentes integrados de las personas, de las máquinas, y de recursos para crear sistemas eficientes y eficaces que producen las mercancías y los servicios beneficiosos para solventar las demandas actuales en el país. Nuestra escuela busca enmarcar a sus profesionales en la realidad actual y proyección futura de la demanda productiva nacional, que sean gente capaz de formar parte del desarrollo tecnológico que vive nuestro país en el área industrial.

Una de las formas más importantes y efectivas que puedan fortalecer la enseñanza que se recibe en las aulas es la creación de módulos didácticos para poder simular los procesos, para que el estudiante pueda ver como son los elementos que se pueden encontrar en el campo laboral y logren estar más capacitados para enfrentar la vida profesional.

El aire comprimido es, junto con la corriente eléctrica, la fuente de energía más importante en plantas industriales, talleres y en otros sectores, Aunque en la edad antigua ya se sabía que el aire permitía transportar energía, las primeras máquinas neumáticas útiles aparecieron solo en el siglo XIX. La neumática industrial tal como la conocemos hoy, solo empezó a desarrollarse después de 1950, primero en los EE.UU. y posteriormente también en Alemania.

1.2 Justificación

La Escuela de Ingeniería Industrial de la Facultad de Mecánica dota a los estudiantes con conocimientos concernientes con la neumática y automatización de procesos de una

manera teórica, con programas; pero debido a las exigencias del desarrollo tecnológico en el que está inmerso nuestro país, se vio la necesidad de implementar módulos didácticos de simulación de procesos industriales y aplicaciones reales con accesorios neumáticos y tecnología moderna que permita al estudiante de nuestra escuela estar capacitado de mejor manera para enfrentar las exigencias tecnológicas que se presentaran en el sector productivo.

El diseño y la implementación de la red de aire comprimido tiene la finalidad de mejorar el proceso pedagógico proporcionando la fuente de energía necesaria para que cada uno de los módulos en los laboratorios puedan funcionar adecuadamente, logrando con esto que los estudiantes de nuestra escuela puedan combinar el conocimiento teórico impartido por parte de los docentes en las aulas con el conocimiento que podrán adquirir estando en contacto con los distintos módulos que se encuentran en los laboratorios de neumática y automatización.

Por este motivo surge la necesidad de tener un laboratorio de Automatización y Neumática, con instalaciones adecuadas para el correcto funcionamiento de los equipos, siendo de vital importancia una fuente de energía (aire comprimido), debido a que los módulos instalados dentro de los laboratorios en su mayoría tienen actuadores neumáticos.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general:* Diseñar e implementar una red de aire comprimido para el laboratorio de automatización y neumática en la escuela de Ingeniería industrial de la facultad de Mecánica - ESPOCH.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar una red de aire comprimido de tal forma que proporcione presión, cantidad y calidad de aire necesaria para abastecer las unidades consumidoras de los laboratorios.

Seleccionar técnicamente los equipos y accesorios que integran la red de aire comprimido.

Implementar la red de aire empleando métodos técnicos que permitan su correcto funcionamiento

Elaborar un plan de mantenimiento y recomendaciones de operación para la conservación óptima de los accesorios y equipos que integran la red de aire comprimido.

CAPÍTULO II

2. GENERACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

2.1 Introducción

El aire comprimido es una fuente de energía que al aprovechar las ventajas que proporciona a la hora de trabajar con elementos neumáticos, nos permite realizar de una forma más rápida y eficiente las tareas que se puedan emprender en cualquier industria.

Para realizar con éxito el diseño y la implementación de la red de aire comprimido, se debe conocer detalladamente el funcionamiento de cada elemento que forma parte de dicho sistema, todo este conjunto de elementos deberán satisfacer la carga de aire requerida en los laboratorios de automatización y neumática llegando a cubrir los requerimientos que se podrían presentar en una ampliación futura.

2.2 Evolución histórica del aire comprimido

En la edad antigua se sabía que el aire permitía transportar energía, las primeras máquinas útiles como martillos neumáticos que en algunos casos tenían émbolo percutor con sistema de control propio aparecieron solo en el siglo XIX, pero la neumática industrial, tal como la conocemos hoy, solo empezó a desarrollarse en 1950 primero en Estados Unidos y posteriormente en Alemania

Las primeras máquinas soplantes sirvieron para suministrar aire de combustión a los hornos de fundición y en la ventilación de explotaciones mineras.

2.3 Ventajas y desventajas del aire comprimido

A continuación se detalla una lista de ventajas y desventajas que presenta el aire comprimido.

Ventajas

- **Abundante:** Es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa conductos de retorno. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.
- **Almacenaje:** Almacenado y comprimido en acumuladores o depósitos, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.
- **Antideflagrante:** Está a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas. Puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.
- **Temperatura:** Es fiable, incluso a temperaturas extremas.
- **Limpieza:** Cuando se producen escapes no es perjudicial y pueden colocarse en las líneas, depuradoras o extractores para mantener el aire limpio.
- **Elementos:** El diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.
- **Velocidad:** Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montajes
- **Regulación:** Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada combinando con sistemas oleo neumáticos.

Desventajas

- **Preparación:** Es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.
- **Ruidos:** El aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastante molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores.
- **Esfuerzos:** Son limitados (2.000 a 3.000 kilogramos con presión de trabajo de 7 kg./ cm²).

2.4 Fundamentos físicos del aire

2.4.1 Características. Se define al aire atmosférico como la mezcla de gases que envuelven la esfera terrestre formando la atmósfera.

El aire comprimido es aire atmosférico sometido a presión compuesto por:

- Nitrógeno 78%
- Oxígeno 21%
- Otros gases 1% (especialmente argón)

$$p_0 = 1,013 \text{ bar y } T_0 = 20^\circ\text{C} \quad (1)$$

ó

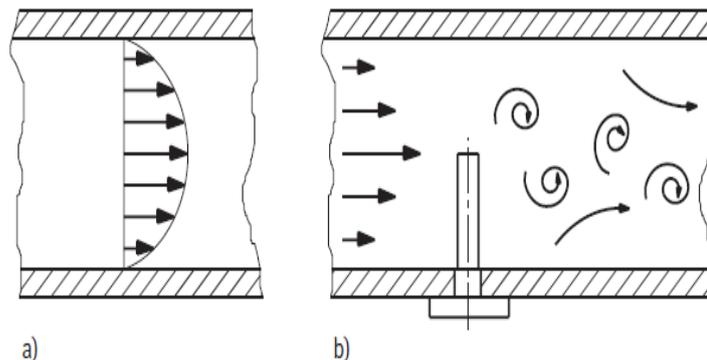
$$p_0 = 1,013 \text{ bar y } T_0 = 0^\circ\text{C} \quad (2)$$

2.4.2 El flujo. El movimiento de los líquidos y de los gases se llama flujo. Estos dos fluidos se diferencian entre sí en la medida en que los líquidos casi no se pueden comprimir (volumen constante) mientras que el volumen de los gases depende de la presión a la que están sometidos. (HESSE, 2002)

El aire a una temperatura entre 0°C a 200°C y a una presión de hasta 30 bar se comporta casi como un gas ideal por lo tanto la presión, la temperatura y el volumen específico son magnitudes que están proporcionalmente relacionadas entre sí.

El flujo del aire es laminar si los tubos no tienen elementos que puedan obstruir la circulación normal del mismo, además el flujo es ligeramente menor junto a la pared interior del tubo que en el centro Figura 1 (a). Cualquier desviación o derivación del tubo, la presencia de válvulas, accesorios o instrumentos de medición provocan remolinos que obstruyen el flujo normal del aire ver Figura 1 (b).

Figura 1. Tipos de flujo



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 12

2.4.3 El caudal. En los sistemas neumáticos representa el consumo de los actuadores o de los equipos conectados a la red neumática y es una referencia para el rendimiento necesario. Se debe diferenciar los siguientes caudales:

- El caudal de un compresor, medido en el lado de aspiración o en el lado de presión
- El caudal de la unidad consumidora, expresada en términos absolutos en función de la demanda o considerando los factores de equilibrio

Cuando fluye aire comprimido a través de un tubo el caudal se expresa en unidades de volumen divididas en unidades de tiempo Figura 2.

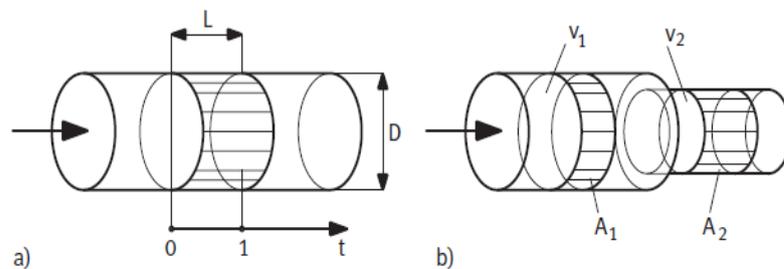
$$Q = A * L \quad (3)$$

Q = Caudal

A = Área del interior del tubo en m^2

L = Longitud del segmento de volumen que fluye en un segundo expresado en $\frac{m}{s}$

Figura 2. Flujos sin fricción



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 11

Si consideramos que el aire se encuentra en un circuito también tendrá que pasar por el área de menor diámetro del tubo en ese caso se podrá aplicar la ecuación de continuidad Figura 2 (b).

$$A_1 * v_1 = A_2 * v_2 \quad (4)$$

v = Velocidad

2.4.4 Presión. Cuando hablamos de presión se entiende como la parte de una fuerza (F) que se aplica sobre una superficie determinada (A). Por lo tanto tenemos:

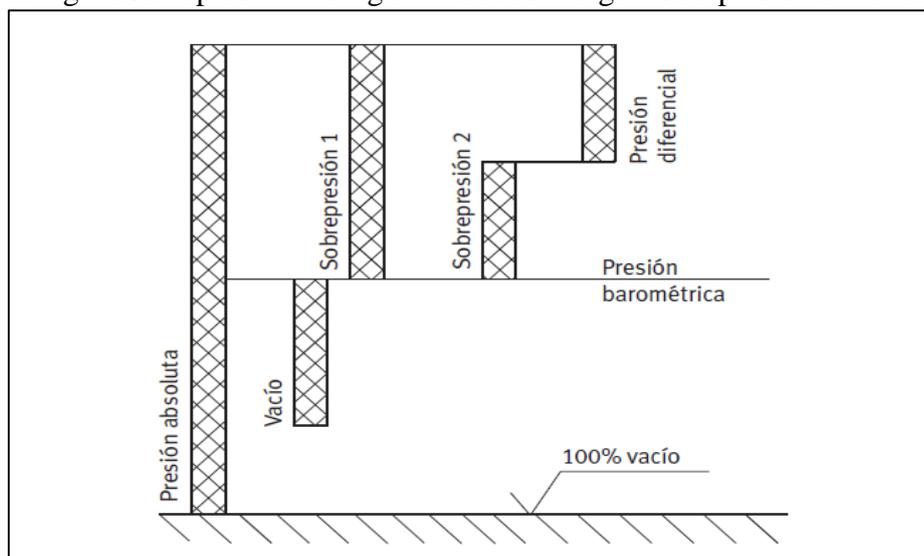
$$P = \frac{F}{A} \quad (5)$$

Se puede diferenciar la presión como:

- Presión Atmosférica.- (presión barométrica del aire) es la presión de una columna de mercurio de 760 mm. de altura a nivel del mar. El valor de la atmósfera es de 1.033 kg./cm².
- Presión absoluta.- Presión comparada con vacío absoluto en calidad de valor cero
- Presión diferencial.- presión que expresa la diferencia existente entre dos presiones absolutas.
- Sobrepresión.- presión que es superior a la presión atmosférica, considerando que esta representa el valor cero
- Vacío.- presión que es inferior a la presión atmosférica, considerando que esta representa el valor cero
- Presión de flujo.- presión de la unidad consumidora en el momento de la toma del aire comprimido

Los márgenes de presión del aire están representados en la Figura 3.

Figura 3. Representación gráfica de los márgenes de presión del aire



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 16

2.4.5 Humedad del aire. El aire húmedo es una mezcla entre aire seco y vapor de agua. El aire solo puede contener vapor de agua en cantidades limitadas. La cantidad depende de lo que indique el barómetro y además de la temperatura. Si el aire se enfría (por ejemplo entrando en contacto con un cristal frío) el vapor de agua se deposita en el cristal en forma de pequeñas gotas, los límites de la condensación están determinados por el punto de rocío y por el punto de condensación bajo presión.

La humedad relativa del aire (W_{rel}) es la relación entre el contenido real de vapor de agua y el contenido máximo posible de vapor de agua en el aire (estado de saturación).

$$W_{re} = \frac{\text{Humedad absoluta del aire}(f)}{\text{Cantidad de saturacion}(f_{max})} * 100 \quad (6)$$

- *Humedad máxima del aire ($f_{máx}$ en g/m^3).* La humedad máxima del aire corresponde a la cantidad máxima de vapor de agua que contiene un metro cubico de aire (cantidad de saturación) a una determinada temperatura.
- *Humedad absoluta del aire (f en g/m^3).* La humedad absoluta del aire corresponde a la cantidad de vapor de agua realmente contenida en un metro cubico.

2.4.6 Punto de rocío. El punto de rocío o, también, punto de condensación, es la temperatura en la que el aire está saturado de vapor de agua. Esta saturación completa corresponde a una humedad del 100%. En el momento en que la temperatura del aire es inferior a ese punto, empieza la condensación del aire húmedo. Si las temperaturas son inferiores a cero grados centígrados, se forma hielo.

Este fenómeno puede limitar considerablemente el caudal y el funcionamiento de los componentes incluidos en una red neumática.

- Cuanto menor es el punto de rocío, tanto menor es la cantidad de agua que puede retener el aire.
- Cuanto más alta es la temperatura, más vapor de agua es capaz de retener el aire
- Cuanta más alta es la presión menos humedad contiene el aire.

2.4.6.1 Como determinar el punto de rocío. Para determinar el punto de rocío se puede recurrir al diagrama de Mollier. Sin embargo, antes de utilizar el diagrama, es necesario conocer el contenido de agua del aire húmedo, expresado en gramos por kilogramo.

Para calcular este contenido de agua, puede utilizarse la siguiente ecuación:

$$x = 0,622 * \frac{\varphi_{rel} * p_s}{p - \varphi_{rel} * p_s} * 10^3 \text{ en g/kg} \quad (7)$$

p = Presión absoluta total en bar

φ_{rel} = Humedad relativa ($\varphi = 0$ hasta 1,0)

p_s = Presión de saturación con vapor en bar

La presión p_s del vapor de agua contenido en el aire únicamente depende de la temperatura y se la puede obtener en la Tabla 1.

Tabla 1. Presión de saturación en función de la temperatura

Temperatura en °C	P_s en mbar	Temperatura en °C	P_s en mbar	Temperatura en °C	P_s en mbar
-20	1.029	+2	7.055	+24	29.82
-18	1.247	+4	8.129	+26	33.60
-16	1.504	+6	9.345	+28	37.78
-14	1.809	+8	10.70	+30	42.41
-12	2.169	+10	12.70	+32	47.53
-10	2.594	+12	14.01	+34	53.18
-8	3.094	+14	15.97	+36	59.40
-6	4.681	+16	18.17	+38	66.24
-4	4.368	+18	20.62		
-2	5.172	+20	23.37		
0	6.108	+22	26.42		

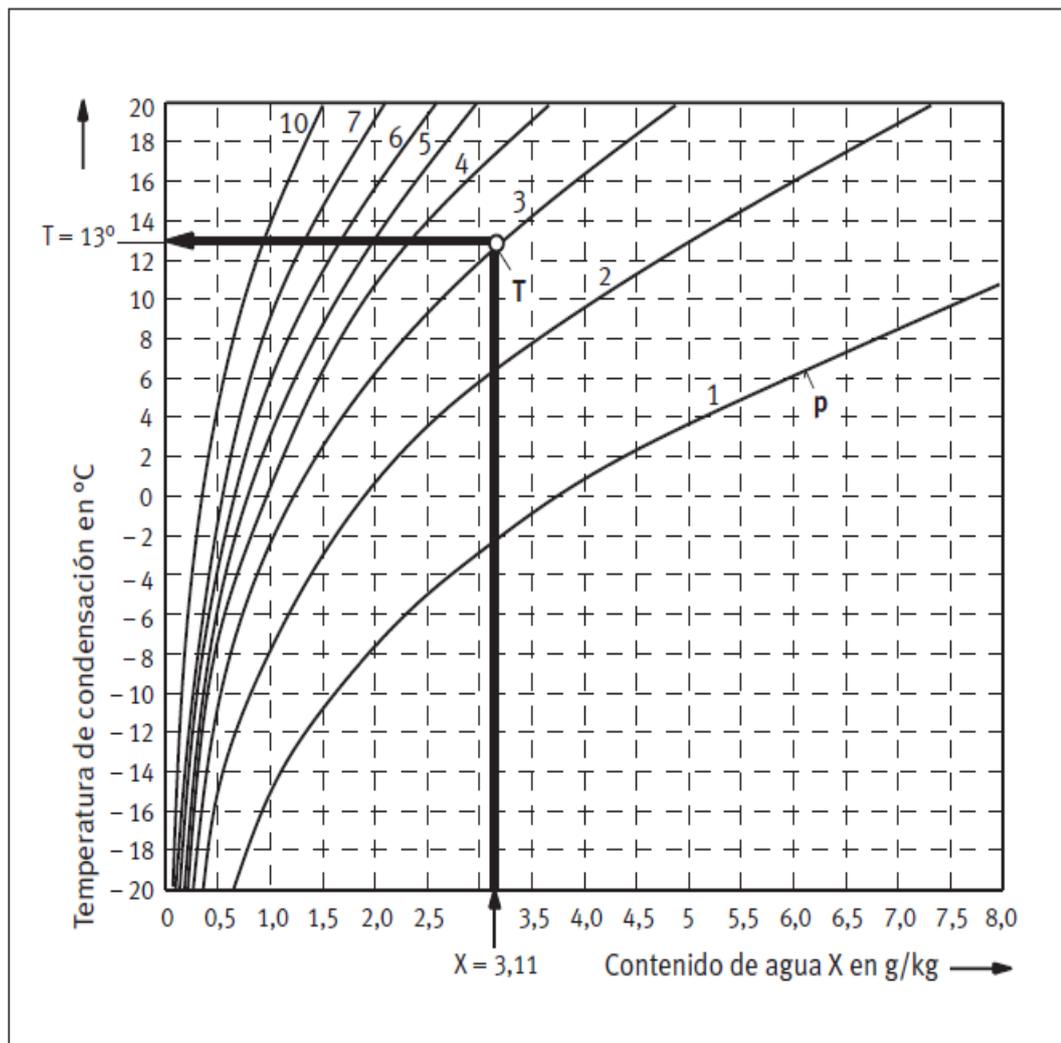
Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 24

Si se quiere expresar el agua que contiene el aire en g/m^3 , se debe multiplicar el resultado de la ecuación anterior por la densidad del aire p_N . Sin embargo, la densidad del aire no tiene un valor constante. Por ello, para simplificar la operación, se calcula con la densidad normalizada p_N .

- El informe de Festo n° 980010 determina que $p_N = 1,292 \text{ kg}/m^3$

Una vez determinado el contenido de agua se puede determinar el punto de rocío utilizando el Diagrama de Mollier representado en la Figura 4.

Figura 4. Diagrama de Mollier



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 23

Aunque sería deseable disponer de aire seco, en la práctica solo se necesita aire completamente seco en muy raras ocasiones. Por lo general es suficiente disponer de aire relativamente seco. El criterio de referencia es la temperatura del punto de condensación.

2.5 Tratamiento del aire comprimido

2.5.1 Generalidades. Se piensa equivocadamente que el aire comprimido es una fuente de energía económica por la disponibilidad del aire que se encuentra en la atmosfera, pero de hecho puede llegar a ser 10 veces más cara que la electricidad si se tiene en cuenta todos los costes de generación, transmisión, tratamiento e instalación. Una buena preparación del aire debe considerar por tanto el consumo de energía del sistema y el equipo necesario para el tratamiento del aire.

El aire producido y conducido hasta los puntos de servicio debe ser tratado antes de ser utilizado por un equipo o herramienta. De esta manera se incrementara la vida útil de estos equipos y la calidad de las operaciones realizadas con ellos. El tratamiento del aire tiene por objeto disminuir las impurezas que pueden estar formadas por agua, polvo, óxido, aceite procedente de la lubricación del compresor, partículas, herrumbres y de igual manera dependiendo del caso eliminar o disminuir el contenido de agua, y además dotarlo de cierta cantidad de aceite para la lubricación de la maquinaria neumática.

El agua origina un desgaste prematuro en los componentes neumáticos, ya que arrastra el aceite que lubrica las partes móviles, produce partículas de óxido en las tuberías de distribución, deteriora las tuberías flexibles y favorece la formación de hielo en ambientes de trabajo a baja temperatura. Las impurezas sólidas dañan las juntas y las partes móviles de los componentes.

En resumen a finalidad de la preparación del aire consiste en conseguir que el aire comprimido tenga la calidad que exige la unidad consumidora preparándolo en lo mínimo posible, aunque siempre tanto como sea necesario. En otras palabras, el aire comprimido debe estar tan limpio como sea indispensable.

2.5.2 Calidad del aire comprimido. La acción principal realizada por el compresor de absorber y comprimir el aire implica determinados problemas, ya que al comprimirse el aire, también se comprimen todas las impurezas que existen en el entorno, tales como polvo, hollín, suciedad, hidrocarburos, gérmenes y vapor de agua.

A estas impurezas se suman las que provienen del propio compresor, tales como polvo de abrasión por desgaste, aceites coquizados y aerosoles. Pero ese no es el único problema. Además, la red de tuberías también contiene residuos y depósitos, tales como óxido, cascarilla, residuos de soldadura y de sustancias hermetizantes que pueden producirse durante el montaje de los accesorios.

Ello significa que, en estado natural, el aire no es limpio. Las impurezas pueden ocasionar fallos en las unidades consumidoras y dañar la red neumática. Las impurezas incluso pueden tener una influencia negativa. Las partículas de polvo, por ejemplo, crean partículas más grandes si entran en contacto con agua o aceite. El aceite, por su parte, crea una emulsión si entra en contacto con el agua.

En la tabla 2 se puede apreciar una clasificación del aire establecida por la norma ISO 8573 en la cual se menciona 6 clases de aire.

Tabla 2. Clasificación del aire

Clase	Tamaño max de las partículas en μm	Densidad max de las partículas en mg/m^3	Punto max de condensación bajo presión en $^{\circ}\text{C}$	Contenido max de aceite residual en mg/m^3
1	0,1	0,1	-70	0,01
2	1	1	-40	0,1
3	5	5	-20	1
4	15	8	3	5
5	40	10	7	25
6	-	-	10	-

Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 31

En una planta industrial se puede requerir aire comprimido de distintas calidades de acuerdo al proceso que se lleva a cabo en cada sección o área. Al determinar esta calidad de aire se puede hacer uso de determinados sistemas de preparación de aire con lo cual se podría mantener los costes de energía y mantenimiento al mínimo.

Con esta finalidad se presenta una guía muy general referente a los niveles típicos de limpieza requeridos por los procesos más comunes en la Figura 3.

Figura 3. Características del aire según su aplicación

Aplicaciones	Cuerpos sólidos (μm)	Punto de condensación del agua ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Contenido máx. de aceite (mg/m^3)	Clase de filtración recomendada
Minería	40	–	25	40 μm
Lavandería	40	+10	5	40 μm
Máquinas soldadoras	40	+10	25	40 μm
Máquinas herramienta	40	+3	25	40 μm
Cilindros neumáticos	40	+3	25	40 μm
Válvulas neumáticas	40 o bien 50	+3	25	40 o bien 50 μm
Máquinas de embalaje	40	+3	1	5 μm – 1 μm
Reguladores finos de presión	5	+3	1	5 μm – 1 μm
Aire de medición	1	+3	1	5 μm – 1 μm
Aire en almacén	1	–20	1	5 μm – 1 μm
Aire para aplicación de pintura	1	+3	0,1	5 μm – 1 μm
Técnica de detectores	1	–20 o bien –40	0,1	5 μm – 1 μm
Aire puro para respirar	0,01	–	–	–0.01 μm

Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 31

2.5.3 Separación del agua. Los efectos negativos que los condensados de vapor de agua producidos en las instalaciones neumáticas, hacen necesaria su eliminación. La cuantificación de los condensados justifica la colocación de purgas tanto en el acumulador como en las líneas de distribución.

Cuando más alta es la temperatura del aire comprimido, más agua puede contener el aire (cantidad de saturación). Así lo demuestra la Tabla 4.

Tabla 4. Contenido máximo de vapor de agua en función de la temperatura

Temperatura en $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90	100
Contenido max de vapor de agua en g/m^3	0,9	2,2	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	30,1	83,3	192,2	472	588

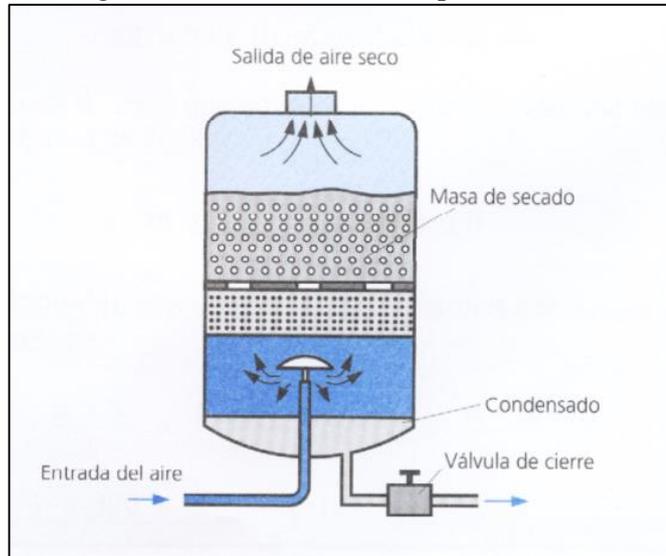
Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 32

2.5.4 Tipos de secadores

2.5.4.1 Secado por absorción. Es un procedimiento de secado puramente químico, que se utiliza en instalaciones de bajo consumo de aire.

El equipo está formado por un depósito que contiene una sustancia higroscópica, a través de la cual se hace circular el aire comprimido; el vapor de agua forma una emulsión acuosa que se va licuando hasta el fondo del depósito y se purga hacia el exterior a través de una válvula Figura 5.

Figura 5. Sistema de secado por absorción



Fuente: <http://www.etitudela.com/profesores/ats/downloads/microsoftwordtema3.pdf>

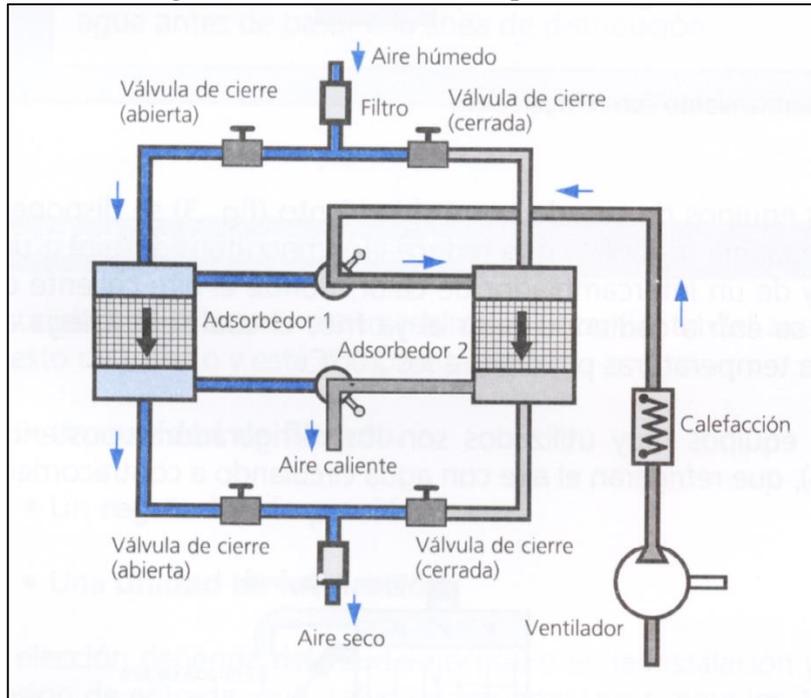
2.5.4.2 Secado por adsorción. Este secado se basa en la fijación de las moléculas de agua a las paredes de un elemento poroso compuesto básicamente por dióxido de silicio. (MANUAL, 2005)

Como el elemento adsorbente se satura, este equipo de secado está formado por dos depósitos y mientras uno está activo el otro se regenera o seca usando para ello aire caliente.

2.5.4.3 Secado en frío. En este método la separación del agua se realiza por enfriamiento. El aire entra en el equipo a través de un intercambiador de calor, donde es pre enfriado por el aire frío y seco que sale de la instalación frigorífica.

En la cámara frigorífica el aire es enfriado hasta 2° C; no debe bajarse de esta temperatura, ya que comienza la congelación de los condensados. A la salida del frigorífico se instala un separador que evacua los condensados al exterior a través de una purga automática Figura 6.

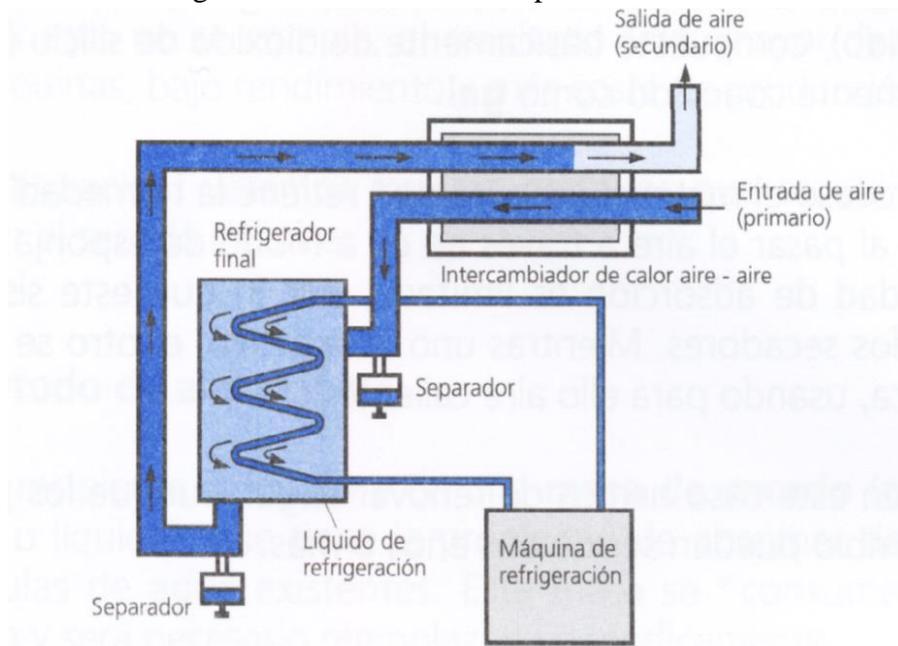
Figura 6. Sistema de secado por adsorción



Fuente: <http://www.etitudela.com/profesores/ats/downloads/microsoftwordtema3.pdf>

El aire seco y filtrado entra en el secundario del intercambiador, donde es calentado por el aire entrante Figura 7.

Figura 7. Sistema de secado por enfriamiento

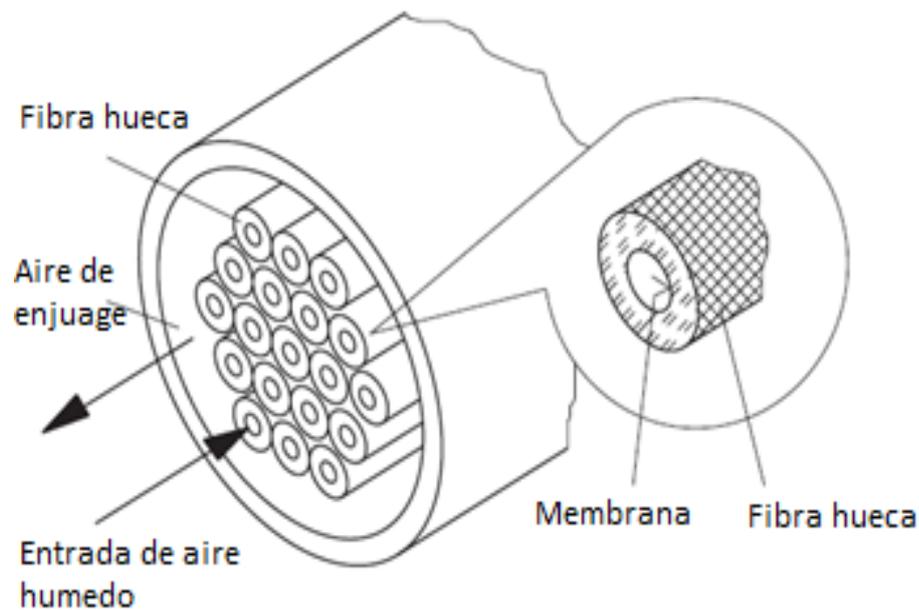


Fuente: <http://www.etitudela.com/profesores/ats/downloads/microsoftwordtema3.pdf>

2.5.4.4 Secado por membrana. Existe también el secador de membrana que debido a su diseño se reduce a sí mismo la eficiencia a causa de un consumo de aire adicional de aire.

Está compuesto por un haz de fibras huecas permeables al vapor que está circundado de aire seco que no está sometido a presión. El secado se produce a raíz de la diferencia parcial de presión entre el aire húmedo en el interior de las fibras huecas y el flujo en sentido contrario del aire seco.

Figura 8. Secador de membrana



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 31

2.5.4.5 Filtración (filtros). Los filtros han tenido un largo periodo de evolución desde aproximadamente 100 años cuando se utilizaba únicamente tejidos para realizar la filtración hasta la actualidad en donde encontramos un sin número de diseños que pueden satisfacer cualquier tipo de necesidad.

2.5.4.6 Clasificación de los filtros. Dependiendo del grado de filtración se los puede dividir en:

- *Filtro:* los filtros son capaces de retener partículas de tamaño superiores a 40 μm o a 5 μm , según su grado de filtración y el tipo de cartucho filtrante.
- *Micro filtro:* estos filtros retienen partículas de tamaños superiores a 1 μm

- *Filtros Sub micrónico:* estos filtros pueden retener partículas de tamaños superiores a 0,01 μm . sin embargo, antes de pasar por estos filtros, el aire tiene que haber pasado previamente por otro, capaz de retener partículas de hasta 5 μm
- *Filtro de carbón activo:* estos filtros son capaces de retener partículas a partir de 0,003 μm , lo que significa que puede retener sustancias aromatizantes u odoríferas.

2.5.4.7 Principios funcionales de los filtros. Los principios de funcionamiento de los filtros son variados y se describe a continuación cada uno de ellos.

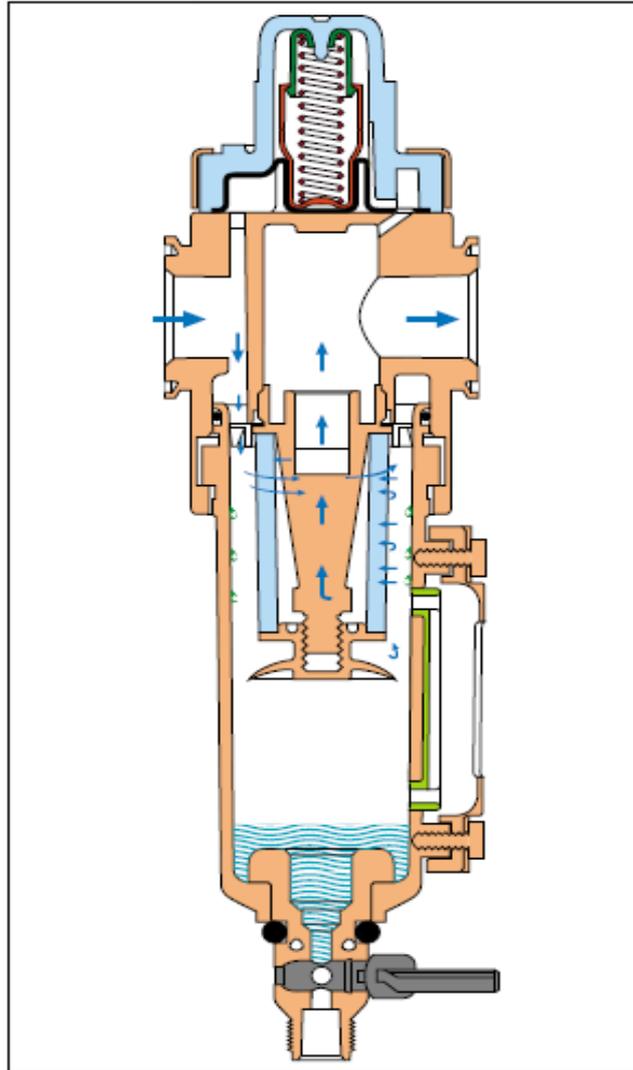
- *Filtros ciclónicos:* el aire tiende a pasar por una chapa que lo obliga a ejecutar un movimiento rotatorio. (PARKER, 2003)

De esta manera las fuerzas centrifugas tienden a expulsar partículas sólidas de mayor tamaño y especialmente las partículas líquidas hacia la pared interior del depósito del filtro, con lo que es posible retener hasta un 90% del condensado. Fig. 2.10.

- *Filtro de capa simple:* estos filtros están compuestos de un tejido de metal y de material sintético y sus poros pueden ser de 5 μm o de 40 μm . El tejido retiene todas las impurezas de mayor tamaño a esos poros. Los filtros de capa simple suelen montarse detrás de un filtro ciclónico.
- *Filtros de capas múltiples:* estos filtros de vellones de microfibras (tejidos de fibras de boro silicato) tiene poros de 1 μm o de 0,01 μm . la filtración se produce por retención, absorción, cribado, difusión, carga electrostática, y ligación por efecto de las fuerzas de Waals.
- *Filtros de carbón activo:* estos filtros contienen una unidad de filtrante de carbón activo amorfo poroso. Estos filtros son capaces de retener partículas muy finas. La adsorción se produce en las partes especialmente activas de la superficie, es decir, en las puntas, esquinas, cantos y en las imperfecciones reticulares de las estructuras de carbón.

Para aumentar la duración del filtro de carbón activo, siempre deberá montarse delante un filtro micrónico y, delante de este, una unidad de pre filtración.

Figura 9. Filtro ciclónico



Fuente:http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/neumatica/Numatica_Industrial_Parker.pdf

2.5.4.8 Observaciones sobre los filtros. El elemento filtrante, a través del cual se obliga al aire a circular, retiene los contaminantes en su superficie en la parte inferior al pasar a través de las aberturas existentes en el deflector-separador. Para facilitar su limpieza y mantenimiento se debe tener en cuenta las siguientes observaciones.

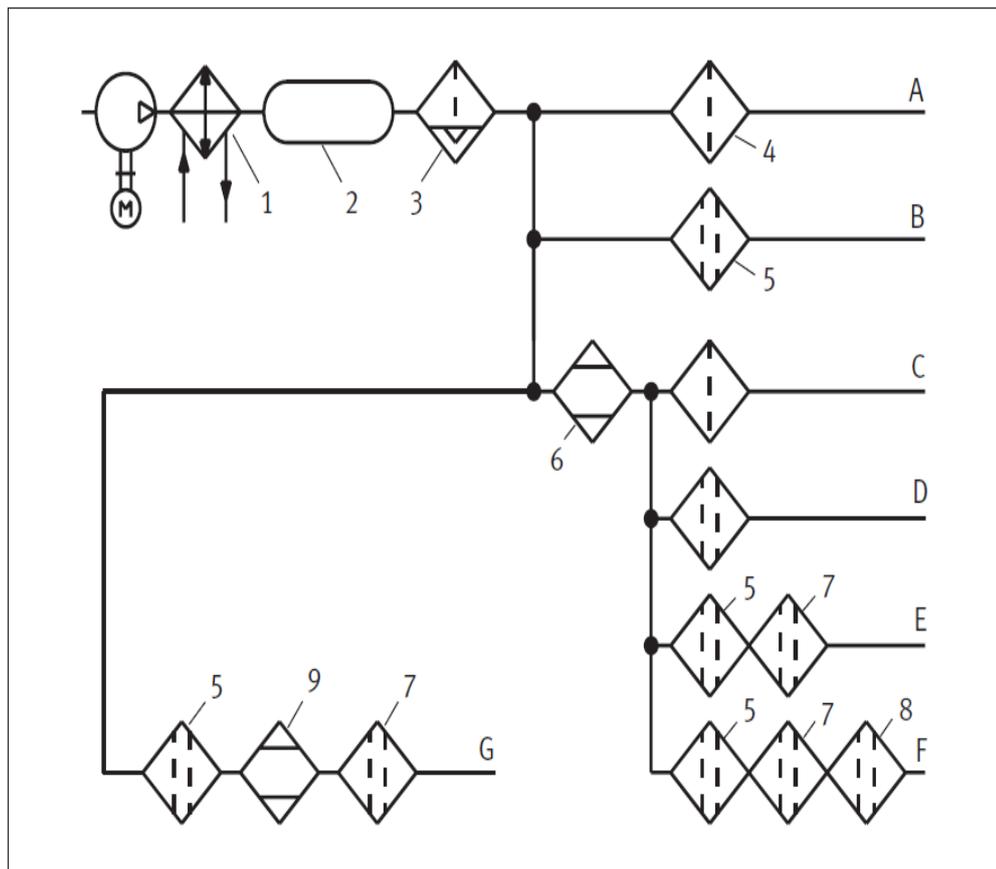
- El agua y las partículas que se depositan en la cuba del filtro deben ser evacuados, ya que de lo contrario, al alcanzar un nivel determinado, el aire arrastraría el agua de condensación hacia el sistema neumático.
- El vaciado del depósito se realiza fácilmente mediante un sistema de purga manual flexible, o bien mediante un dispositivo de purga automática incorporada.

- Los vasos transparentes de los elementos estándar son de policarbonato. A fin de no dañar el policarbonato, deberá evitarse cualquier contacto con disolventes, aceites sintéticos y esencias de otros hidrocarburos.
- Para la limpieza solo se emplearan detergentes neutros.
- Cuando la caída de presión sea superior a 1 bar, ha de procederse al cambio del cartucho filtrante por uno nuevo.

2.5.4.9 Elección de los filtros en función de su aplicación. Para poder elegir de manera correcta los filtros y la ubicación de los mismos en el caso que se llegara a necesitar una combinación de varios filtros se debe tener en cuenta el siguiente esquema presentado en la Figura 10.

En dónde: (1) Unidad de refrigeración posterior, (2) Acumulador, (3) Filtro del conducto principal con descarga automática, (4) Filtro estándar, (5) Microfiltro, (6) Separador por frío, (7) Filtro submicrónico, (8) Filtro de carbón activo, (9) Secador por absorción.

Figura 10. Esquema para la ubicación de filtros en función de sus aplicaciones



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 42

Las aplicaciones para las cuales se dispone los filtros como se representa en la figura anterior se detallan en la Tabla 5.

Tabla 5. Aplicaciones para una correcta elección de filtros

Columna 1	Tipo de filtro	Campo de aplicación	Función principal
A	Se Aceptan ligeras impurezas, humedad y aceite	accionamiento de mandos de máquinas, sistema de sujeción, martillos percutores, choros de aire, aire para taller	Eliminación de impurezas, partículas de polvo superiores a 5 µm, aceite liquido superior a 99%, humedad sobresaturada inferior a 99%
B	Eliminación prioritaria de polvo y aceite, admitiéndose una pequeña cantidad de humedad(que se explica por la diferencia de temperaturas)	Equipos industriales, actuadores neumáticos, juntas metálicas, herramientas, motores	Eliminación de impurezas partículas de polvo superiores a 0,3 µm, niebla de aceite superior a 99,9%, humedad sobresaturada superior a 99%
C	Tiene prioridad la eliminación de la humedad, aceptándose pequeñas cantidades de aceite y de polvo	Aplicaciones similares a las de A, aunque situación más difícil debido a una mayor diferencia de temperaturas en la red o en las unidades consumidoras; cabinas de pintura, aplicaciones con spray	Eliminación de la humedad y de partículas de polvo superiores a 5 µm, aceite superior a 99%, punto de condensación atmosférico de -17 °C
D	Eliminación necesaria de humedad, polvo y aceite	Técnica de procesos, instrumentos de medición; sistemas sofisticados de aplicación de pintura; refrigeración de material fundido, máquinas de inyección de plásticos	Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,3 µm, niebla de aceite superior a 99,9%, punto de condensación atmosférico de -17 °C
E	Necesidad de disponer de aire limpio. Eliminación casi total de humedad polvo y aceite	Instrumentos de medición neumáticos, técnica de fluidos, pintura de aplicación electrostática, secado y limpieza de componentes electrónicos	Eliminación de impurezas y humedad, partículas de polvo superiores a 0,01 µm, niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico de -17 °C

F	Necesidad de disponer de aire extremadamente limpio. Eliminación casi completa de humedad, polvo, aceite y olor	Industria farmacéutica y alimentaria (embalaje, secado, transporte, preparación de alimentos), aplicaciones de técnica médica, trabajos de sellado y emplomado	Eliminación de todas las impurezas y sustancias odoríferas, partículas de polvo superiores a 0,01 μm , niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico de -17 $^{\circ}\text{C}$
G	Necesidad prioritaria de un bajo punto de condensación y aire prácticamente exento de polvo aceite	procesos de secado en electrónica, almacenamiento de productos farmacéuticos, instrumentos de medición en la marina, transporte de material en polvo	eliminación de todas las impurezas, humedad y vapores, partículas de polvo superiores a 0,01 μm , niebla de aceite superior a 99,9999%, punto de condensación atmosférico inferior a -30 $^{\circ}\text{C}$

Fuente: Autor

2.5.5 *Válvulas reguladoras de presión.* En una red de aire comprimido podemos reconocer dos tipos de presiones; una presión primaria la cual se encuentra en el circuito principal, la misma que sufre muchas oscilaciones, y una presión secundaria que es, la que llega a las unidades consumidoras.

Si esta presión secundaria tiene variaciones puede ocasionar que los elementos de mando y los actuadores varíen de forma inaceptable como por ejemplo si esta presión es demasiado baja las unidades consumidoras no funcionarían correctamente disminuyendo de esta manera el rendimiento.

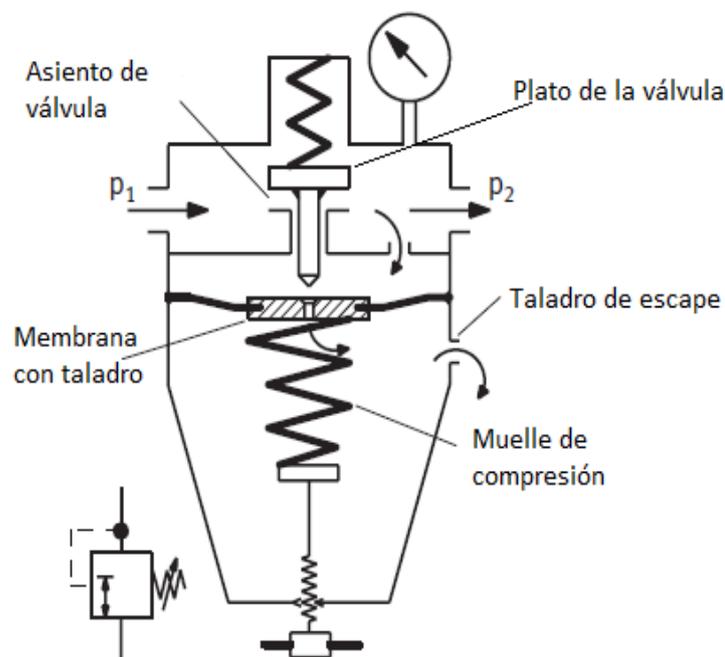
2.5.5.1 *Funcionamiento.* Un punto en común de todos los reguladores de presión es de que con el fin de poder trabajar constante y repetidamente dentro de sus límites de diseño requerirán un suministro de presión al menos 1 bar por encima de la presión de salida requerida. También podrán trabajar con un diferencial inferior, pero esto puede perjudicar su rendimiento y el rendimiento de las unidades consumidoras.

Existen varios tipos de reguladores de presión y a continuación se indican dos de los tipos más comunes.

La presión primaria p_1 Figura 11, levanta el plato de la válvula, separándola del asiento de la válvula en contra de la fuerza del muelle de compresión. De esta manera se obtiene

en la salida la presión p_2 . Esta presión actúa sobre la membrana a través de un taladro, el taladro de la membrana queda libre a partir de una determinada presión, de modo que el aire comprimido puede salir a través de la membrana y del taladro de escape, a este funcionamiento se lo conoce como consumo propio del regulador. Cambiando constantemente la superficie en el asiento de la válvula y quedando abierto el taladro de la membrana, la presión del lado secundario se adapta al caudal por ejemplo, al cambiar la carga en un cilindro de trabajo y mantiene casi constante la presión secundaria.

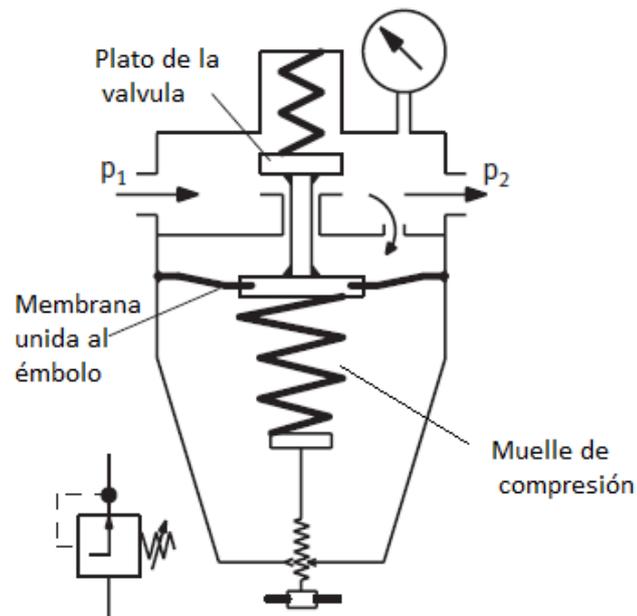
Figura 11. Regulador con taladro de escape



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 49

También se puede encontrar un regulador sin taladro de escape Figura 12, el plato de la válvula y la membrana funcionan como un sistema de doble émbolo. Si la presión secundaria p_2 es demasiado alta, aumenta la presión aplicada en el asiento de la válvula, con lo que se presiona la membrana en contra de la fuerza del muelle de compresión. De esta manera disminuye la superficie de la sección del caudal, pudiendo llegar a cero, con lo que el flujo de aire se reduce o se bloquea totalmente. Solo si la presión de funcionamiento p_2 vuelve a ser más pequeña que la presión primaria, vuelve a fluir más aire comprimido.

Figura 12. Regulador sin taladro de escape

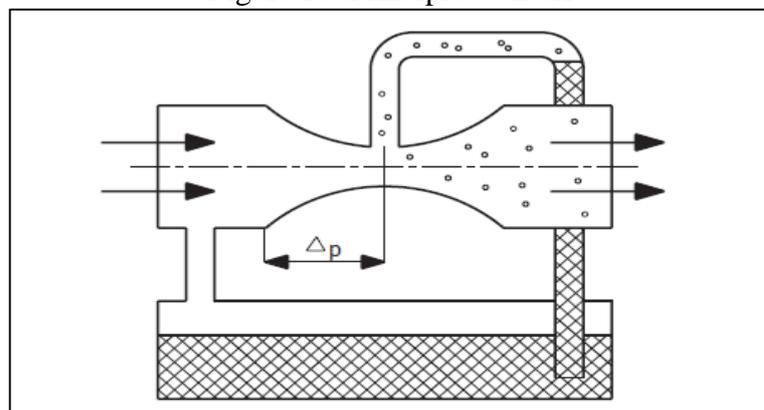


Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 49

2.5.6 *Lubricadores de aire comprimido.* Es necesario disponer de aire comprimido lubricado dependiendo de las aplicaciones para las cuales se utilice, convirtiéndose así, no solo como un agente energético sino también como un agente lubricante para las unidades consumidoras y partes móviles de los elementos de trabajo.

2.5.6.1 *Principio de funcionamiento del lubricador.* El efecto Venturi Figura 13, es el principio del funcionamiento de los lubricadores y se produce cuando el aire comprimido cruza por una tobera de forma convergente con el fin de producir un vacío en el lado de aspiración, dicho vacío ayuda a la aspiración de aceite ubicado en un depósito por medio de un tubo ascendente.

Figura 13. Principio Venturi

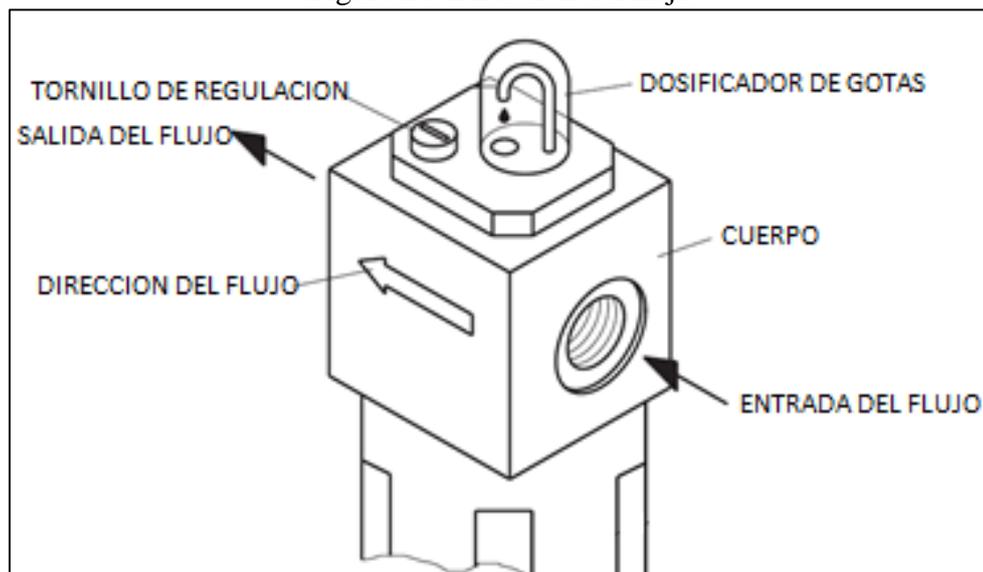


Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 46

2.5.6.2 Recomendaciones con la lubricación. Para mantener una buena lubricación de las partes móviles de los elementos de trabajo es recomendable utilizar aceites ligeros para maquinas o aceites hidráulicos especiales, que a una temperatura de 20 °C lleguen a tener una viscosidad entre 17 hasta 25 mm²/s, Para seleccionar el lubricador las pérdidas de presión no deberían superar un promedio de 0,15 bar hasta 0,35 bar.

Se puede instalar un lubricador general para varias unidades consumidoras, pero si el sistema funciona intermitente mente y con tiempos menores a un minuto es recomendable inyectar el lubricante cerca de la unidad consumidora para evitar una lubricación deficiente y pérdidas en la red de tuberías, y por último se debe tener muy en cuenta en el momento de la instalación del lubricador el sentido del flujo del aire que está indicado en los lubricares con una flecha con la finalidad que la entrada este dirigida hacia el lado de la proveniencia del aire comprimido Figura 14.

Figura 14. Dirección del flujo



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 47

2.6 Generación del aire comprimido

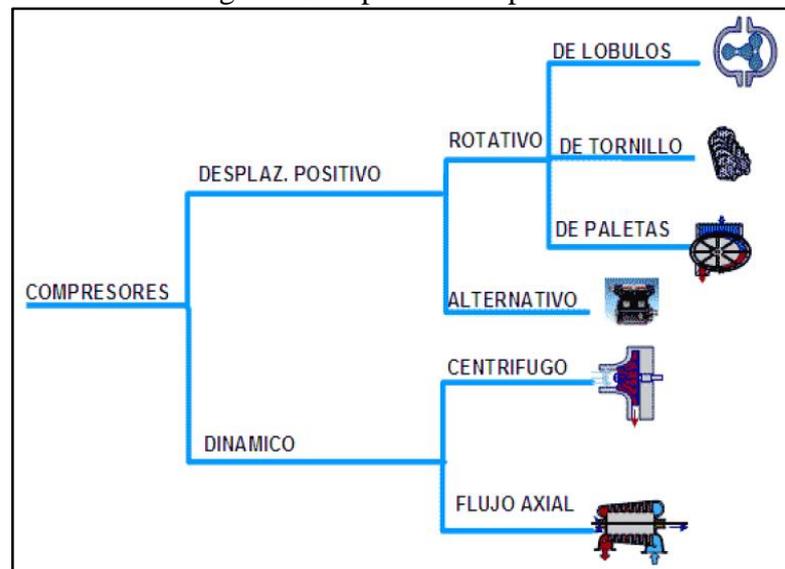
El aire comprimido se lo obtiene aspirando aire de la atmósfera y comprimiéndolo a un volumen más pequeño, luego se lo almacena en un depósito, para después poder emplearse en la obtención de trabajo mecánico lineal como para lograr el desplazamiento de un pistón, o trabajo mecánico rotativo como en el movimiento de un motor neumático, o empleándolo para la atomización de spray, barnices, pinturas etc.

2.6.1 Compresor. El compresor es un dispositivo capaz de producir aire comprimido a partir de una fuente de energía que en la mayoría de los casos es producida por un motor eléctrico o también un motor de combustión interna.

Luego el aire con presión es transferido a un recipiente para luego ser distribuido a las unidades consumidoras. Como solo una parte de la energía entregada por el motor fue utilizada para comprimir el aire, el resto de esta energía es disipada en forma de pérdidas o por radiación de calor

2.6.2 Tipos de compresores. La clasificación de los compresores según su funcionamiento se presenta en el la siguiente figura. (OSCULLO, 2011)

Figura 15. Tipos de compresores



Fuente: OSCULLO, 2011

2.6.2.1 Compresores de desplazamiento positivo. Par lograr el incremento de presión en este tipo de compresores intervienen elementos mecánicos los cuales reducen un espacio determinado en el que ingreso aire a presión normal para por medio de la reducción de espacio aumentar la presión. Este tipo de compresores se dividen a su vez en compresores rotativos y reciprocantes.

2.6.2.2 Compresores rotativos de lóbulos. En este tipo de compresores debido a las continuas entregas de aire la compresión tiene lugar en un tanque más no en el mismo compresor.

El principio de funcionamiento viene dado por sus dos rotores simétricos que giran en direcciones opuestas dentro de una carcasa cilíndrica.

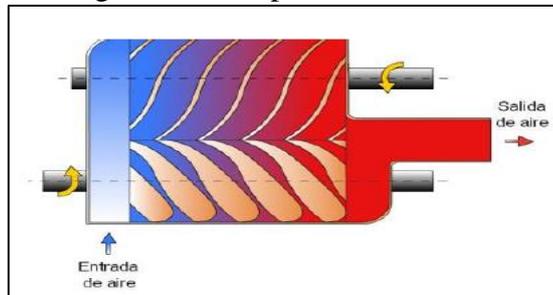
Figura 16. Compresor de lóbulos



Fuente: OSCULLO, 2011

2.6.2.3 Compresores rotativos de tornillos. Está constituido por dos tornillos en donde el espacio entre los labios es reducido progresivamente mientras se acerca a la salida logrando con esto la compresión, debido a que estos tornillos están permanentemente en contacto necesitan lubricación la misma que se consigue al momento que ingresa el aire con aceite.

Figura 17. Compresor de tornillos

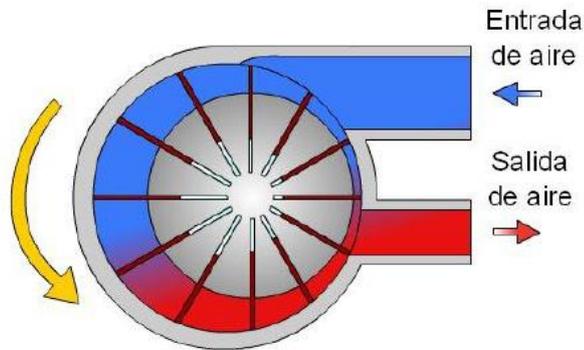


Fuente:http://www.dte.us.es/tec_ind/electron/ai/descarga/Apuntes%20De%20Neumatica%20FESTO.pdf

2.6.2.4 Compresor rotativo de paletas. Este compresor está constituido por paletas deslizantes alojadas en las ranuras de un rotor que está montado excéntricamente dentro de una carcasa cilíndrica. Estas paletas dan la impresión de rozar por un lado la pared de la carcasa formando así, del lado opuesto una cámara de trabajo en forma de media luna, las ventajas de este tipo de compresores es sin lugar a duda el flujo continuo de aire, su pequeño tamaño y su funcionamiento silencioso. El aire que ingresa al compresor se

deposita en el espacio entre dos paletas en la zona de mayor excentricidad y mientras gira el rotor el volumen entre aletas va disminuyendo y el aire se comprime.

Figura 18. Compresor de tornillos

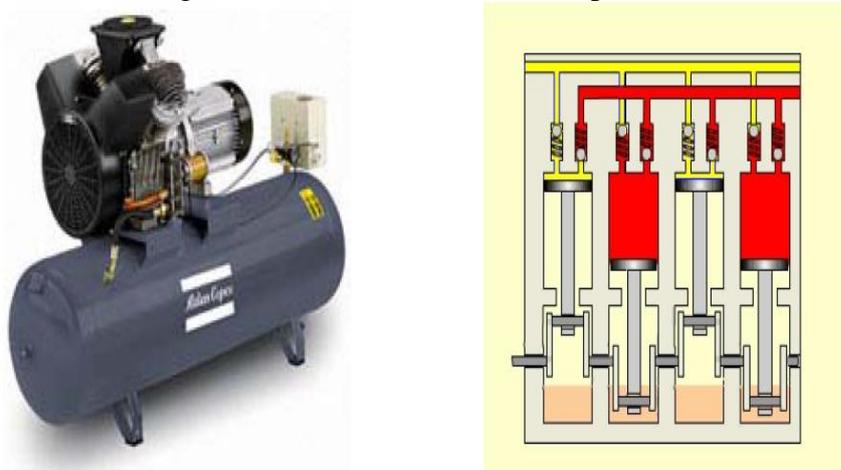


Fuente:http://www.dte.us.es/tec_ind/electron/ai/descarga/Apuntes%20De%20Neumatica%20FESTO.pdf

2.6.2.5 Compresores alternativos. La compresión de aire se consigue a través del movimiento de un cilindro, el mecanismo puede lograr la compresión a partir de un cilindro o también empleando dos cilindros, pudiendo estar colocados estos cilindros en forma horizontal, vertical o con una cierta inclinación. (GÓMEZ, 2003)

Los cilindros pueden ser estancos y estar lubricados con aceite si no importa que la descarga de aire tenga algunas partículas de aceite en suspensión, en caso contrario, es posible tener compresores libres de aceite pero a costes mayores.

Figura 19. Instalación de aire comprimido



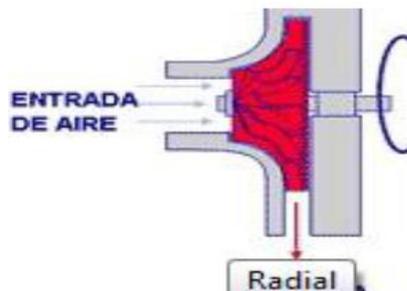
Fuente: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>

2.6.2.6 Compresores dinámicos. La principal característica de estos compresores es que proporcionan flujo continuo transformando la energía cinética en presión.

Este tipo de compresores se dividen en centrífugos y axiales.

2.6.2.7 Compresores centrífugos. Este tipo de compresores tienen un impulsor con álabes radiales o inclinados. El aire ingresa por una rueda giratoria en la que se encuentran dichos álabes los cuales lanzan al aire hacia la periferia mediante la fuerza centrífuga. La característica de este tipo de compresores es el flujo constante del aire, velocidad de funcionamiento alta y suministro de aire libre de aceites. (INGEMECÁNICA, 2014)

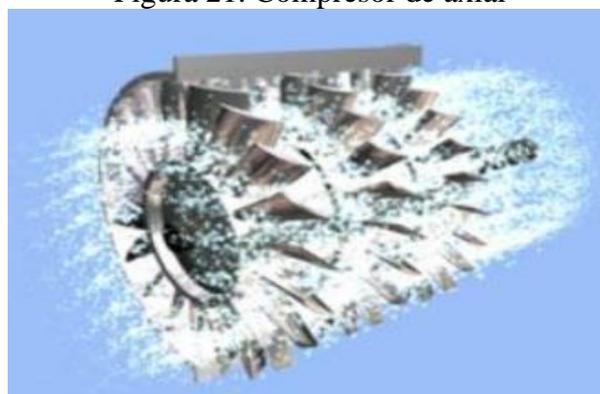
Figura 20. Compresor de tornillos



Fuente:http://www.dte.us.es/tec_ind/electron/ai/descarga/Apuntes%20De%20Neumatica%20FESTO.pdf

2.6.2.8 Compresores axiales. Este tipo de compresores están formados por filas alternadas de alabes estacionarias y rotativas que proporcionan el flujo en dirección a lo largo del eje del compresor. Los alabes móviles entregan velocidad y presión al girar el rotor para luego los alabes estacionarios conviertan presión por expansión.

Figura 21. Compresor de axial

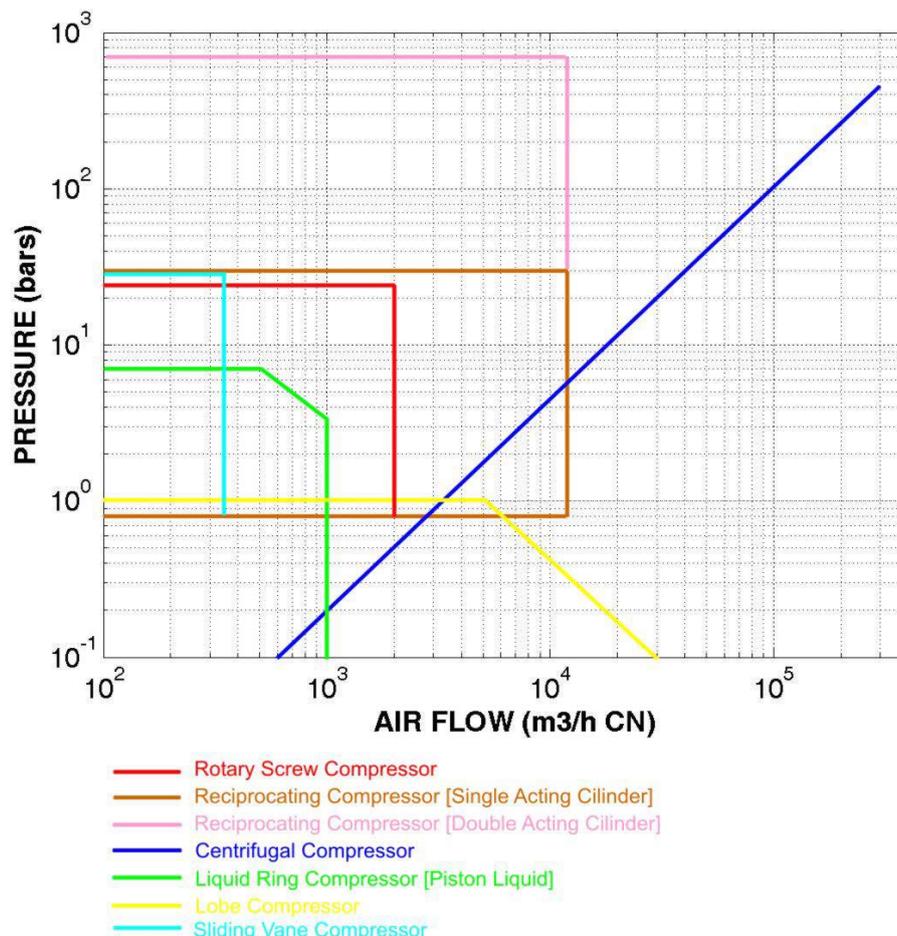


Fuente:http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/neumatica/Numatica_Industrial_Parker.pdf

2.6.3 Selección del compresor. El primer paso para la selección correcta del compresor es determinar la cantidad de unidades consumidoras distinguiendo en cada una de ellas el consumo de aire la presión y la calidad de aire que requieren, posteriormente se determina el consumo medio considerando la duración de la conexión, simultaneidad de funcionamiento y reservas necesarias para posibles ampliaciones futuras en la red. Una vez obtenidos estos valores se procede a calcular la resistencia que se opone al caudal convirtiendo la resistencia de los accesorios en el equivalente de la resistencia de la tubería en función de su longitud.

Con el fin de seleccionar el tipo de compresor se puede utilizar el siguiente nomograma en el que se incluyen varios tipos de compresores.

Figura 22. Selección del compresor



Fuente: <http://web.uniovi.es/Area/Mecanica.Fluidos/>

Una vez que se ha determinado el tipo de compresor que mejor se adapta a las necesidades se puede seleccionarlo en base a las características técnicas que ofrezca el fabricante.

2.7 Distribución de la red de aire comprimido

La distribución de la red de aire comprimido tiene vital importancia en el ciclo que debe completar este fluido desde el momento que fue comprimido pasando por su preparación y llegando a cada una de las unidades consumidoras o a los puntos de consumo con el fin de obtener un máximo rendimiento en todo el sistema.

2.7.1 Recomendaciones generales. Entre las recomendaciones que pueden llegar a ser de gran utilidad en las instalaciones de aire comprimido destacan las siguientes:

- Se debe elegir los recorridos más cortos procurando que el trazo de la tubería sea lo más recta posible evitando cambios bruscos en dirección, reducciones de sección, curvas, piezas en T, etc.
- Evitar las tuberías subterráneas, Tratando que el montaje de la tubería sea aéreo, facilitando con esto la inspección y el mantenimiento.
- Se debe dimensionar la red de forma que se pueda satisfacer demandas futuras

2.7.2 Trazados de la red de aire comprimido. Antes de conocer los tipos básicos de trazado que existen es importante tener en cuenta que la red de aire comprimido a más de tener un correcto dimensionamiento e instalación se debe procurar una vigilancia y mantenimiento continuo por lo que no es aconsejable instalar en establecimientos angostos o tener tramos de tubería subterráneas.

Los trazados para una red de aire comprimido que podemos encontrar son los siguientes:

2.7.2.1 Trazado o circuito en bucle abierto. También llamado trazado de final en línea muerta, este tipo de trazado se caracteriza por tener una sola línea de salida del compresor, un único sentido de circulación del aire comprimido y un final de línea cerrado que se puede apreciar fácilmente.

Este circuito es común mente usado en instalaciones pequeñas como la que se puede encontrar en un taller artesanal donde el aire se lleva a los puntos de consumo directamente o por medio de un sistema ramificado no complejo, con la menor longitud posible y la menor cantidad de puntos de consumo logrando así evitar pérdidas primarias por tubería y pérdidas secundarias por accesorios.

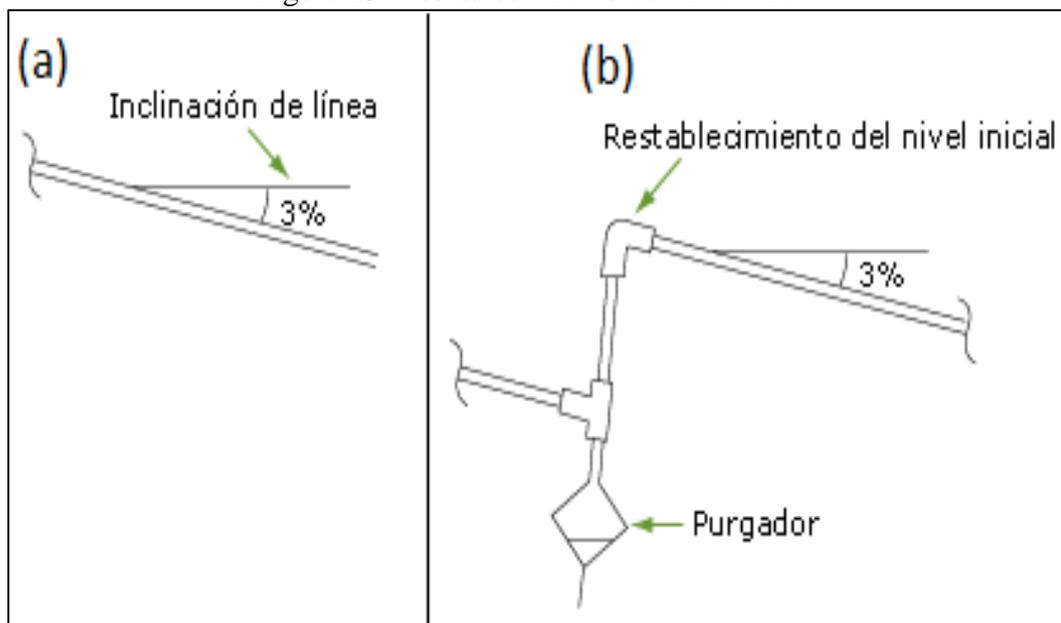
Por el hecho que en este tipo de Trazado hay un único sentido de circulación la distribución de presiones no es uniforme y toda la instalación resultara afectada en caso de avería.

2.7.2.2 *Inclinación de la red.* En ocasiones dependiendo la calidad de aire no resultan suficientes las precauciones tomadas en la fase de preparación del aire, incluso los filtros sin importar su diseño y su capacidad filtrante no podrán evitar completamente el paso de condensado que existe en la red, siempre queda una parte de agua difícil de extraer que se origina por la actuación refrigerante de los conductos sin aislamiento térmico y a las reducciones bruscas de temperatura local que se producen en algunas válvulas y accesorios tras una fuerte expansión.

Un método muy simple pero que puede ser aplicado en cualquier instalación neumática consiste en disponer los conductos inclinados entre un 1% y un 3% con la finalidad de utilizar la gravedad para reunir el condensado que se encuentra en la tubería y facilitar su drenaje utilizando purgadores previamente instalados Figura 23 (a).

2.7.2.3 *Restablecimiento del nivel inicial.* Esta inclinación aunque pequeña llaga a ser muy notoria en instalaciones grandes convirtiéndose en un problema, en este caso, se puede añadir un tramo de conducto vertical y dos codos que retornen al nivel inicial y situar la purga en el punto inferior Figura 23 (b). (IGLESIAS, 2013)

Figura 23. Restablecimiento del nivel inicial

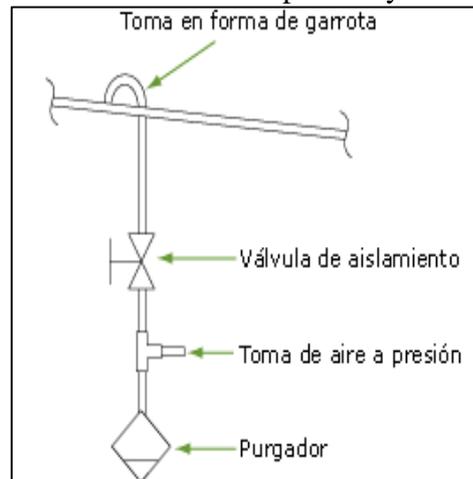


Fuente: <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/tema-4-neumatica-red-de-distribucion>

2.7.2.4 Forma de las tomas de presión. Con la misma finalidad de reunir la mayor cantidad de condensado antes de que este pueda llegar a los puntos de consumo o a las unidades de mantenimiento es recomendable disponer las tomas de presión en forma de garrota o cuello de cisne desde la parte superior del conducto. Cuando una toma de presión acaba en un bajante, debe disponerse una válvula de aislamiento y una purga en su extremo inferior Figura 24.

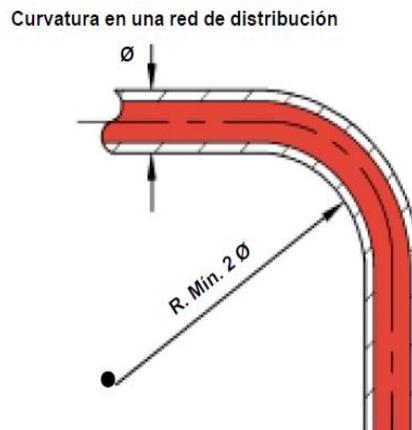
2.7.2.5 Curvatura. Con la finalidad de evitar la utilización de codos cuando los cambios de dirección sean pronunciados se recomienda en los casos que se pueda crear una curvatura en los tubos, la misma que no deberá tener un radio interior menor a dos veces el diámetro externo del tubo evitando así pérdidas excesivas por turbulencias.

Figura 24. Forma de toma de presión y toma de purga



Fuente: <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/tema-4-neumatica-red-de-distribucion>

Figura 25. Curvatura en una red de distribución



Fuente: http://formacion.plcmadrid.es/descargas/docs/neumatica/Numatica_Industrial_P

arker.pdf

2.7.2.6 Trazado o circuito en bucle cerrado. Se lo puede llamar también trazado en anillo cerrado, a diferencia del trazado anterior este es recomendado en instalaciones medianas y grandes debido a que las pérdidas son reducidas considerablemente logrando una presión casi uniforme en todas las tomas, se logra además mayor funcionalidad en casos de averías resultando posible tomar medidas de mantenimiento en las zonas afectadas sin llegar a suspender el resto del circuito siempre y cuando se haya previsto de válvulas que garanticen el aislamiento de dicha sección.

El principal inconveniente de este trazado es el costo elevado de toda la red puesto que se necesita mayor longitud de tubería para lograr cerrar el circuito, pero puede ser justificado en casos donde se requiera un consumo continuo de aire sin tener que suspenderlo en los casos de mantenimiento de la red.

2.8 Dimensionamiento de la red

Un correcto dimensionamiento de la red de aire comprimido toma mayor importancia en el momento de su funcionamiento debido al diámetro de la tubería, material que esté compuesta, la rugosidad de las paredes internas de esta tubería y los accesorios que integran esta red llegaran a oponer resistencia al flujo normal del aire produciendo pérdidas de presión.

2.8.1 Presión de funcionamiento de la red de aire comprimido. Cabe aclarar que existe una gran diferencia entre la presión de funcionamiento o también llamada presión de trabajo con la presión de servicio, en el primer caso se hace referencia a la presión necesaria en el puesto de trabajo o unidad consumidora, y cuando hablamos de presión de servicio es la suministrada por el compresor, la misma que se encuentra en el acumulador y en las tuberías que alimentan a los consumidores.

Una vez que se tiene claro el concepto entre estos dos tipos de presiones se puede establecer una clasificación de la presión en función del trabajo que se va a realizar.

2.8.1.1 Baja presión. Desde la presión atmosférica hasta 2 veces este valor. Este tipo de presiones es usada comúnmente para:

- Transporte neumático para material granulado o polvos.
- Aireación o agitación de tanques con agua residual, alimentos, sustancias químicas, etc.
- Extracción de vapores tóxicos o explosivos en recipientes cerrados.
- Oxigenación de procesos de combustión.

2.8.1.2 *Media presión.* Desde 90 psi hasta 205 psi. La presión media es utilizada en:

- Fábricas, accionamiento de cilindros neumáticos, válvulas, procesos automatizados, taladros y herramienta neumática. Sistemas de monitoreo y control de procesos, limpieza, sandblasting, soplado e inyección de plásticos, soplado de mangas en colectores de polvos, limpieza interna de recipientes, aplicación de pintura, remache producción de oxígeno, nitrógeno y otros gases, etc.
- Hospitales: Ventiladores en las unidades de cuidados intensivos y producción de oxígeno.
- Laboratorios: Agitación de líquidos, aspersión de líquidos, pruebas, generación de vacío, limpieza de piezas, etc.

2.8.1.3 *Alta presión.* Desde 205 psi hasta 600 psi.

- Soplado de botellas en PET u otros materiales.

2.8.2 *Pérdidas de presión.* Uno de los errores más frecuentes es aumentar la presión cuando la herramienta no funciona correctamente, acción que puede dañar los componentes internos de esta, diseñados para soportar presiones específicas. El problema del incorrecto funcionamiento puede ser del caudal y no de la presión. En una red diseñada correctamente es tolerable una pérdida de presión del 10%.

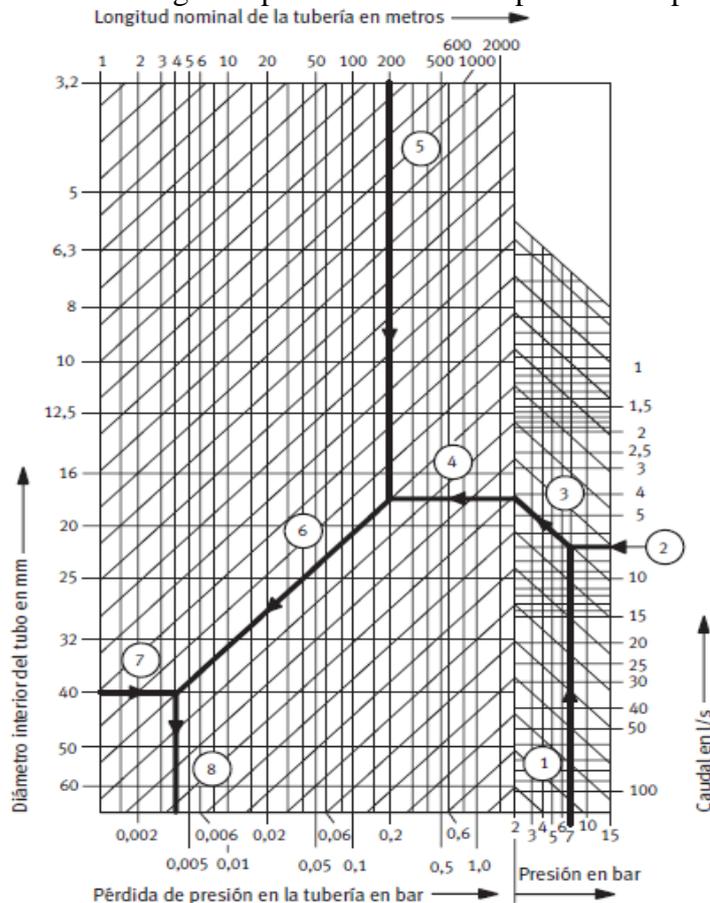
Las caídas de presión se presentan cuando el aire comprimido viaja primero a través del equipo de preparación de aire (secadores, filtros, reguladores, lubricadores) y segundo cuando viaja a través de toda la red de tuberías y accesorios llegando a presentarse pérdidas mucho mayores cuando existe gran cantidad de accesorios y cuando el diámetro de estas tuberías no es lo suficientemente grande llegando a producirse pérdidas por fricción.

Una forma práctica para determinar las pérdidas de presión en la tubería es utilizando el siguiente monograma representado en la Figura 26. En donde incluyendo los valores desde (1) hasta (7) se obtiene el valor (8) que representan las pérdidas de presión existentes en la tubería.

2.8.3 Caudal necesario para la instalación. En toda instalación de aire comprimido se encuentra un sin número de equipos que consumen cierta cantidad de aire comprimido para poder funcionar.

En cada uno de estos equipos se debe utilizar la cantidad de aire o caudal que recomienda el fabricante o en el mejor de los casos el caudal que maneja la red podrá ser mayor ya que el equipo simplemente utilizara lo que requiere para funcionar y el resto volverá a circular por la red, pero por ningún motivo las cantidades de aire podrán ser inferiores debido a que se presentaran deficiencias en el funcionamiento normal de los equipos o unidades consumidoras.

Figura 26. Monograma para determinar las pérdidas de presión



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 69

Muchos de los equipos utilizados en una industria o módulos automatizados cuentan con varios cilindros neumáticos llegando a ser desconocida la cantidad exacta de aire que consumen dichos equipos.

Para determinar el caudal que consume un cilindro neumático de doble efecto se emplea la siguiente formula.

$$V = (A * s + A' * s) * \eta * Rc \quad (8)$$

En donde:

V = Caudal de un cilindro

A = Área del embolo

S = Carrera del vástago

A' = Área del embolo menos área del vástago

η = Ciclos realizados

Rc = Relación de compresión

$$Rc = \frac{P_{atm} + P_{trabajo}}{P_{atm}} \quad (9)$$

P atm = Presión atmosférica

P trabajo = Presión de trabajo del cilindro

Una vez determinado el consumo de todos y cada uno de los cilindros neumáticos que se encuentran utilizando el aire de la red se debe tomar en cuenta posibles ampliaciones a futuro con la finalidad de que en varios años y con el aumento en el requerimiento de aire que se puede dar, se garantice que los consumidores finales sigan obteniendo el caudal necesario para su correcto funcionamiento.

Para cubrir estos dos aspectos importantes se puede hacer uso de la siguiente formula:

$$\tilde{V} = \left[Vm + \left(Vm * \frac{Ar}{100} \right) + \left(Vm * \frac{Ar}{100} * \frac{Fu}{100} \right) \right] * 2 \quad (10)$$

Dónde:

\tilde{V} = Caudal requerido para el sistema

V_m = Caudal total de los cilindros

A_r = Reserva para posibles ampliaciones posteriores (30%)

F_u = Consideraciones de posibles fugas (10%)

2 = multiplicador 2, Compensa picos de consumo que superan consumo medio

2.8.4 *Material de la tubería.* Otro de los puntos a tener en cuenta con la finalidad de obtener la cantidad y presión de aire que se desea en las unidades consumidoras sin que los costos por instalación y por el consumo de energía sean grandes es el material de la tubería.

Debido a que cualquier tipo de influencia incida sobre el flujo de aire o cualquier cambio de dirección significan un factor de interferencia que provoca un aumento de la resistencia al flujo. La elección de los materiales adecuados y el montaje correcto de las conexiones puede contribuir a que la reducción de la presión sea mínima.

Para la distribución de aire comprimido se puede utilizar tubería de los siguientes materiales:

- Cobre
- Tubo de acero negro
- Latón
- Tubo de acero galvanizado
- Acero fino
- Plástico
- Polietileno, Poliamida

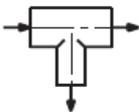
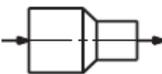
Dadas las oscilaciones de la presión en la red, es indispensable que los tubos sean montados sólidamente, ya que de lo contrario es posible que se produzcan fugas en las conexiones atornilladas o soldadas.

2.8.5 Longitud de la tubería. La longitud de la tubería influye en las pérdidas de presión que se pueden encontrar en la red de aire comprimido siendo necesario el correcto dimensionamiento de la red al igual que la elección correcta de los materiales que la van a conformar.

Para poder calcular estas pérdidas de presión se debe conocer la longitud de las tuberías que conforman la red, al igual que la longitud equivalente a la tubería pero que en este caso es por la resistencia que ofrecen los distintos accesorios, válvulas, codos y demás. Estas longitudes equivalentes o también llamadas ficticias se presentan en el siguiente cuadro.

La forma más fácil para determinar la longitud de la tubería y el número de accesorios que formaran parte de la red de aire comprimido es crear un plano a escala en el que se pueda tomar en cuenta toda la instalación desde el compresor hasta la toma de aire más lejana.

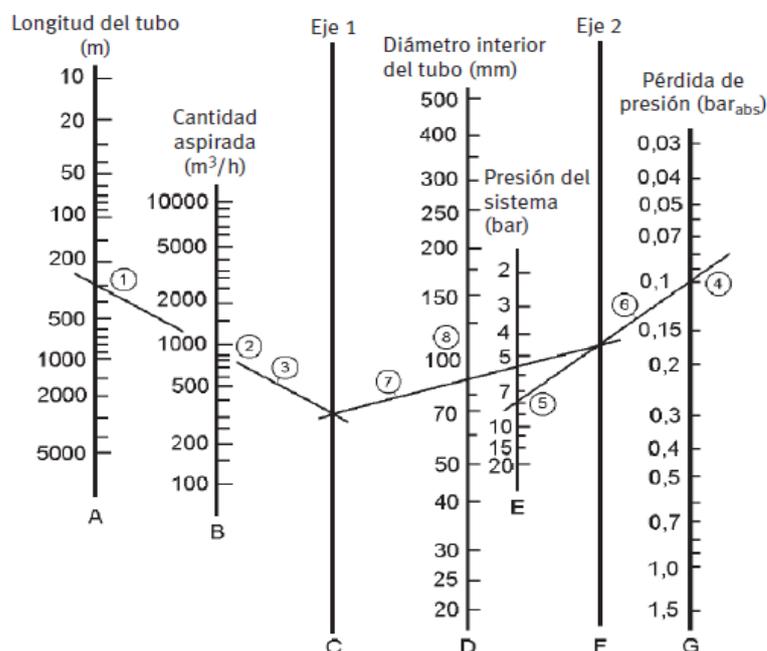
Figura 27. Longitud de la tubería

Denominación	Accesorio	Longitudes equivalentes en metros								
		Diámetro interior d del tubo en milímetros								
		9	12	14	18	23	40	50	80	100
Válvula esférica		0,2	0,2	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6	1,0	1,3
Codo		0,6	0,7	1,0	1,3	1,5	2,5	3,5	4,5	6,5
Pieza en T		0,7	0,85	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	7,0	10
Reductor de 2d a d		0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,9	1,0	2,0	2,5

Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 70

2.8.6 Diámetro de la tubería. El diámetro también influye en las pérdidas de presión que se pueden presentar en la red para lo cual se ve necesario la determinación de un diámetro ya sea utilizando una fórmula o empleando un monograma como se indica a continuación.

Figura 28. Diámetro de la tubería



Fuente: STEFAN HESSE, aire comprimido fuente de energía, pág. 78

Con la ayuda de este monograma se puede determinar el diámetro que necesita la red de aire comprimido incluyendo los puntos 1 hasta 7 y en el punto de intersección 8 en la escala D indica el diámetro interior del tubo.

Se puede utilizar también la siguiente formula de aproximación con el mismo fin de determinar el diámetro interior del tubo.

$$d = \sqrt[5]{(1,6 * 10^3) * V^{1,85} * \frac{L \text{ total}}{\Delta p * p_1}} \quad (11)$$

En donde:

D = diámetro interior del tubo en metros

p1 = Presión de funcionamiento en pascales (Pa)

Δp = Perdida de presión en pascales

L total = Longitud nominal de la tubería en metros

V = caudal en m³/s.

2.8.7 *Cilindros neumáticos.* En lo que respecta a las dimensiones de los cilindros neumáticos la norma ISO ha establecido una serie de normas de carácter internacional con la cual se intenta garantizar la intercambiabilidad de cilindros de diversas procedencias para lo cual quedan fijos los diámetros constructivos de los cilindros entre otras características.

2.8.7.1 *Diámetros de cilindros neumáticos:* Se ha establecido la siguiente serie para las dimensiones de los diámetros de los cilindros: 8, 10, 12, 16, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 125, 160, 200, 250, 320, etc.

2.8.7.2 *Micro cilindros:* corresponden a las 6 primeras dimensiones de la serie anterior, Este tipo de cilindros comercialmente conocidos como micro cilindros responden a la norma ISO 6432, teniendo como característica principal el no ser desarmables y no contar con tensores.

2.8.7.3 *Cilindros reparables:* Este tipo de cilindros responden a la norma ISO 6431, los mismos que tienen diámetros su a partir de los 32 mm, son conocidos genéricamente como cilindros separables debido a que su construcción posibilita el desarme, se los puede encontrar con resortes, tensores, tubo integral, camisa perfilada siendo confiable su utilización por la facilidad de reparación.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

3.1 Determinación del punto de rocío en la localidad

Para poder utilizar la ecuación 7, con la finalidad de determinar el contenido de agua en el aire necesitamos conocer:

- Humedad relativa de la localidad
- Presión absoluta total. (en bar)
- Temperatura en la localidad

3.1.1 *Humedad relativa de la localidad.* La humedad relativa que se encuentra en la ciudad de Riobamba se la obtiene de los datos proporcionados por la Estación Meteorológica de la ESPOCH Anexo A.

Como se dispone de los datos correspondientes a la humedad relativa desde los años que se encuentra en funcionamiento la estación se opta por establecer el valor promedio de los últimos 5 años.

Siendo la humedad relativa en la ciudad de Riobamba de: 62,65 %.

3.1.2 *Temperatura en la localidad.* Para obtener la temperatura promedio que se encuentra en la ciudad de Riobamba se procede de la misma forma que para la obtención de la humedad relativa utilizando en este caso los datos que se presentan en el Anexo B.

Obteniendo para la ciudad de Riobamba una temperatura promedio de: 13,40 °C.

3.1.2.1 *Presión de saturación.* Para determinar la presión de saturación se utiliza la Tabla 1.

Obteniendo un valor de: 15.97 mbar.

3.1.3 *Cálculo de la cantidad de agua.* Utilice la ecuación 7.

$$x = 0,622 * \frac{\varphi_{rel} * p_s}{p - \varphi_{rel} * p_s} * 10^3 \text{ en } g/Kg$$
$$x = 0,622 * \frac{0,6265 * 0,01597 \text{ bar}}{7 \text{ bar} - 0,6265 * 0,01597 \text{ bar}} * 10^3$$
$$x = 0,8903 \text{ g/Kg}$$

3.1.4 *Punto de rocío en la ciudad de Riobamba.* La mayoría de las instalaciones de aire comprimido utilizan presiones medias cuyos valores se indicaron en el capítulo anterior. Con la finalidad de calcular el punto de rocío y tomando en cuenta las pérdidas de presión que se podrían presentar en la instalación de aire comprimido se utilizó una presión de 7 bar, y empleando el diagrama de Mollier de la Figura 4. Se obtiene que el Punto de Rocío que se encuentra en la ciudad de Riobamba es: 7.5 °C.

3.2 **Calidad de aire para la red**

La instalación de aire comprimido está diseñada con la finalidad de proporcionar energía para el funcionamiento de los módulos didácticos que se encuentran en los laboratorios de Neumática y Automatización, y para cubrir la demanda de aire que llegara a necesitar con la adquisición de nuevos módulos didácticos en dichos laboratorios. Los cilindros neumáticos son los consumidores de aire comprimido que encontramos con mayor frecuencia en los módulos, por tal motivo se podrá seleccionar la calidad de aire que necesitan dichos consumidores.

3.2.1 *Determinación de la calidad de aire para la red.* En base a las Figura 3 y Tabla 2, se determina la calidad de aire que necesita nuestra red tomando en cuenta que en los laboratorios se pondrá en funcionamiento actuadores neumáticos, válvulas pero también existirán electroválvulas las mismas que necesitaran aire de calidad igual a la de un regulador fino de presión Tabla 6.

Para la determinación de la calidad de aire adecuado para nuestra red se creó la Tabla 6.

Tabla 6. Calidad del aire requerido para laboratorios

	Regulador fino	Calidad de aire
Cuerpos Solidos (μm)	5	3
Punto Max de condensación bajo presión en ° C	† 3	4
Contenido Max de aceite residual (mg/m^3)	1	3

Fuente: Autores

Resumen:

- Para la instalación de aire comprimido son aceptables cuerpos solidos no mayores a 5 μm , correspondiendo a una calidad de aire 3
- El punto máximo de condensación corresponde a una temperatura de +3 °C, dando como resultado la necesidad de una calidad de aire 4
- El contenido máximo de aceite residual es de 25 mg/m^3 con lo que es necesario una calidad de aire 3.

Por tal motivo se opta por disponer de una calidad de aire de calidad 3 para toda la red de aire comprimido.

3.3 Presión de funcionamiento de la red

Entre los principales elementos que conforman las unidades consumidoras que se encuentran en los laboratorios de Neumática y de Automatización tenemos: cilindros neumáticos, válvulas, electroválvulas, entre otros, que son utilizados para la puesta en marcha de Procesos Productivos y Automatizados.

Bajo este justificativo podemos elegir una presión media cuyos valores van desde los 90 psi hasta los 205 psi según como se indicó en el capítulo anterior.

Los cilindros neumáticos, al igual que la mayoría de equipos que funcionan con aire comprimido trabajan a una presión de 6 bar o su equivalente de 90 psi aproximadamente.

Los distintos regulares de presión que formaran parte de la red deberán trabajar con un excedente de presión de por lo menos 1 bar, para nuestra red de aire comprimido vemos conveniente disponer de 7 bar (102 psi aproximadamente) con la finalidad de que el equipo realice la regulación con presiones que van dentro de lo recomendado a mas de que se pueda recompensar las pérdidas de presión que podrían existir en el sistema por distintos medios.

3.4 Selección de la unidad de mantenimiento

Para la selección de la unidad de preparación de aire nos guiamos en la tabla 5 Aplicaciones para una correcta selección de filtros y de acuerdo a la calidad de aire necesaria para nuestra red y a la clase de filtración recomendada se determina que el filtro adecuado para la red debe ser.

- Filtro ciclónico, de acuerdo al principio de funcionamiento.
- Filtro convencional, de acuerdo al grado de filtración.

En lo que se refiere al secador de aire la mejor elección es un secador de membrana debido a que el elemento filtrante podrá ser remplazado fácilmente, no requiere de una fuente de energía adicional o de un medio de enfriado.

3.5 Trazado de la red de aire comprimido

El trazado que fue elegido para la red de aire comprimido forma dos anillos cerrados para cada laboratorio teniendo como ventaja un nivel de pérdidas de presión muy reducido a más de que presenta la posibilidad de aislar determinados tramos de tubería sin suspender la alimentación del resto de la red simplemente cerrando el paso de válvulas esféricas

En cada laboratorio existe diez tomas en forma de cuello de cisne con un radio de 100 milímetros, y tubería de media pulgada Plano A.

3.6 Cálculo del caudal necesario para la red de aire comprimido

Para realizar el cálculo del caudal necesario para nuestra red de aire comprimido, como ya se explicó en el capítulo anterior, debemos conocer el consumo de cada una de las unidades consumidoras.

En el caso de la red de aire comprimido para el laboratorio de Neumática y para el laboratorio de Automatización no se cuenta con datos técnicos del consumo de las unidades que formaran parte de los laboratorios debido a que se tratan de módulos didácticos que se están creando dentro de la misma institución, decidimos que por cada unidad consumidora se tendrá al menos un cilindro neumático cuyo consumo llega a ser el caudal requerido por el modulo.

3.6.1 Datos planteados para el cálculo del consumo de un cilindro.

3.6.1.1 Diámetro del émbolo. Para los módulos que se encuentran en los laboratorios se emplearon micro cilindros en donde el diámetro de sus émbolos van desde los 8 mm hasta los 25 mm, Para el cálculo de consumo necesario para un cilindro utilizaremos un diámetro del embolo de 40 mm que corresponde al grupo de los cilindros reparables.

3.6.1.2 Diámetro del vástago. Dependiendo del fabricante se puede encontrar varias medidas en el diámetro del vástago las mismas que están normalizadas con la finalidad de obtener repuestos de los distintos actuadores que podemos encontrar en el mercado, tomaremos la medida de 14 mm siendo el consumo de aire menor mientras mayor sea el diámetro del vástago.

3.6.1.3 Carrera del vástago. En vista que las aplicaciones de los cilindros en los laboratorios son didácticas y no tienen la misma aplicación que en la industria se emplea como dato una carrera de 140 mm.

Para considerar este dato se tomó en cuenta a más de espacio que existe en el laboratorio y de la distancia de separación de maquina a máquina que recomiendan normas de seguridad, también se tomó en cuenta que a carreras mayores se puede presentar pandeo en el vástago.

3.6.1.4 Ciclos realizados. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores y por tratarse de módulos didácticos se realizara los cálculos para determinar el consumo de aire con un valor de 140 ciclos/hora.

3.6.2 Calculo del consumo de aire para un cilindro neumático. Para determinar el consumo de aire en un cilindro utilizamos la ecuación (9) con los siguientes datos:

Ø embolo = 0,04 m

Carrera del vástago = 0,14 m

Presión de funcionamiento = 6 bar

Presión Atmosférica = 1,01325 bar

Ciclos realizados = 140 ciclos/h

Para determinar la Relación de compresión (R_c) utilizamos la ecuación 9.

$$R_c = \frac{P_{atm} + P_{trabajo}}{P_{atm}}$$

$$R_c = \frac{1,01325 \text{ bar} + 6 \text{ bar}}{1,01325 \text{ bar}}$$

$$R_c = 6,92154$$

$$V = (A * s + A' * s) * \eta * R_c$$

$$V = (1,25664 * 10^{-3} m^2 * 0,14m + 1,10270 * 10^{-3} m^2 * 0,14m) * 140 \text{ ciclo/h} * 6,92154$$

$$V = 0,3200726 \text{ m}^3/h$$

$$V = 0,08890915 \text{ l/s}$$

$$V = 0,18838773 \text{ ft}^3/\text{min}$$

El consumo de aire que tendrá un cilindro neumático será de 0,18838773 ft³/min (scfm).

3.6.3 *Calculo del consumo de aire total de la red.* Para determinar el caudal de aire comprimido que necesita la red se emplea la ecuación 10, con los siguientes datos:

$$Ar = 30 \%$$

$$Fu = 10 \%$$

$$Vm = 3,76775461 \text{ ft}^3/\text{min}$$

$$\tilde{V} = \left[Vm + \left(Vm * \frac{Ar}{100} \right) + \left(Vm * \frac{Ar}{100} * \frac{Fu}{100} \right) \right] * 2$$

$$\tilde{V} = \left[3,76775461 + \left(3,76775461 * \frac{30}{100} \right) + \left(3,76775461 * \frac{30}{100} * \frac{10}{100} \right) \right] * 2 \text{ (scfm)}$$

$$\tilde{V} = 10,0222 \text{ scfm}$$

El caudal total que requiere el sistema incluido un porcentaje para posibles ampliaciones y por fugas es de 4.722997 l/s o también 10,0222 scfm.

3.7 Selección del material de la tubería

Para la selección del material de la tubería se utilizó una tabla de comparaciones en base a varios parámetros que se tomó en cuenta después de conocer las características técnicas de la tubería que se empleara en la red de aire comprimido y el Cuadro de comparación entre tubos de diversos materiales que se presentan en el Anexo C.

Tabla 7. Parámetros planteados para selección del material

Parámetros	Peso
Resistencia al flujo	0,3
Fácil adquisición	0,12
Disponibilidad de racores y accesorios	0,2
Presión	0,08
Facilidad de montaje	0,1
Posibilidad de doblar	0,1
Juntas estancas	0,06
Dimensiones	0,04
Total	1

Fuente: Autor

Para la selección del material de la tubería se consideró entre los parámetros más importantes la resistencia al flujo y la disponibilidad de accesorios debido a que todos los esfuerzos por encontrar un material que oponga la menor resistencia posible llegarían a ser inútiles en el caso que sea difícil la obtención de accesorios o en su defecto lleguen a ser demasiado costosos. Un análisis similar se realizó con la facilidad de doblado, teniendo presente la necesidad de contar con garrotas o cuellos de cisne en la red.

Se consideró también la estanqueidad y facilidad de montaje teniendo presente que en la formación académica que ofrece la facultad, se cuenta con conocimientos de mecanizado que nos permitirán realizar el roscado adecuado de la tubería.

Una vez determinados los parámetros que se utilizaran para la selección del material de la tubería Tabla 7.

Fue desarrollada la tabla de comparación obteniendo como mejor opción la utilización de tubería de Acero galvanizado.

3.8 Determinación del diámetro de la tubería y pérdidas de presión

Las pérdidas de presión que pueden existir en la red de aire comprimido dependerán del diámetro de la tubería y de los accesorios que se encuentran en la red, a mayor diámetro de tubería menor resistencia al flujo, estas pérdidas de presión no podrán exceder el 10 % de la presión de servicio tal como se indicó en el capítulo anterior.

3.8.1 Diámetro ficticio de la tubería. Para determinar el diámetro interno de la tubería que podrá satisfacer los requerimientos de nuestro sistema calcularemos primero un diámetro ficticio tomando en cuenta en toda la instalación un máximo en las pérdidas de presión de un 10%, una presión de 7 bar y con una longitud de 60 metros. Este diámetro de tubería representa al mínimo que se podría instalar en la red debido a que posteriormente se debe incluir a los 60 metros de tubería la longitud equivalente a la tubería que se crea por la resistencia al flujo de los distintos accesorios tales como codos, válvulas y tes.

Para el cálculo del diámetro utilizamos la ecuación 11.

$$d = \sqrt[5]{(1,6 * 10^3) * V^{1,85} * \frac{L_{total}}{\Delta p * p_1}}$$

$$d = \sqrt[5]{(1,6 * 10^3) * 0,005290^{1,85} * \frac{60 m}{70000 Pa * 700000 Pa}}$$

$$d = \sqrt[5]{1,2035611} (m)$$

$$d = 0,01037 (m)$$

$$d = 10,37 (mm)$$

3.8.2 *Diámetros útiles para la red de aire comprimido.* Mediante la utilización del monograma de la Figura 26, y teniendo en consideración el menor diámetro de tubería que se puede instalar, los diámetros de tubería que pueden ser útiles para nuestro sistema se presentan en la Tabla 8 y se detallan en el Anexo D.

Tabla 8. Pérdidas de presión para diámetros de 12, 18, 23 milímetros

Ø Interno (mm)	Pérdidas de presión (bar)	% de Pérdidas
12	0,5	7,14%
18	0,07	1,00%
23	0,025	0,36%

Fuente: Autores

3.9 Selección del compresor

El consumo de aire que requiere la red es relativamente bajo con lo cual la mayoría de los compresores que se encuentran en el mercado pueden cubrir las necesidades requeridas por lo que nos vemos en la necesidad de pre seleccionar el compresor en función del caudal y presión de funcionamiento para posteriormente estudiar el resto de parámetros que son importantes a la hora de seleccionar el compresor.

3.9.1 Pre selección del compresor. En el Anexo E, se determinan los tipos de compresor que mejor se ajustan al caudal y presión de funcionamiento de la red utilizado la Figura 22.

Los tipos de compresores que se pueden utilizar en la red de aire comprimido son los siguientes:

- Compresor de Tornillo
- Compresor Alternativo (Una etapa)
- Compresor Alternativo (Dos etapas)
- Compresor de paletas deslizantes

3.9.2 Selección final del compresor. Para la selección final del compresor presentada en el Anexo F, nos planteamos varios parámetros con un peso o importancia determinada para poder crear una tabla de comparaciones en la cual calificaremos los aspectos técnicos de los tipos de compresores que mejor se ajustaron a los requerimientos de caudal y presión

Tabla 9. Parámetros analizados para la selección del compresor

Parámetros	Peso
Eficiencia	0,3
Consumo de energía	0,2
Instalación y funcionamiento	0,08
Mantenimiento	0,1
Disponibilidad en el mercado	0,1
Disponibilidad de repuestos	0,08
Vibraciones	0,03
Ruido	0,03
Precio	0,08
Total	1

Fuente: Autor

Como resultado de la elección utilizando el método de comparación, se llegó a determinar que los compresores de tipo alternativo de pistón de una etapa son la mejor alternativa para cubrir las necesidades de nuestra red de aire comprimido.

Junto con un caudal de 10,022 scfm y una presión de funcionamiento de 7 bar se optó por adquirir un compresor marca CAMPBELL HAUSFELD por tratarse de un equipo que mejor se adapta a las necesidades requeridas, se trata de una marca confiable y con presencia de centros de distribución y repuestos en el país.

Los datos técnicos del compresor que se presentan en el Anexo G, justifican de esta manera su adquisición.

3.9.3 Utilización. En lo que se refiere al uso de compresores, existen muchas discusiones sobre un uso intermitente o uno continuo.

En muchos casos un tanque de mayor capacidad contrarresta la demanda periódica excesiva de aire comprimido permitiendo que el taller consuma por periodos cortos el aire almacenado con más rapidez que la capacidad real del compresor teniendo un consumo continuo de aire con la utilización de un compresor para un uso intermitente.

CAPÍTULO IV

4. PLAN DE MANTENIMIENTO Y RECOMENDACIONES DE OPERACIÓN DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

4.1 Plan de mantenimiento de la red de aire comprimido

La elaboración de un plan de mantenimiento para la red de aire comprimido tiene como finalidad mantener un correcto funcionamiento y alargamiento de la vida útil de todos los equipos que conforman esta red, utilizando una guía confiable que determina la frecuencia de mantenimiento de los distintos equipos.

4.1.1 *Descripción y situación actual de la red de aire comprimido.* Para satisfacer las demandas de aire en los laboratorios de neumática y automatización se utiliza un compresor alternativo de una etapa con un tanque con capacidad de 60 galones, su motor proporciona una potencia de 3.2 hp, se logra una presión máxima de 135 psi y un caudal de 10,2 scfm a 90 psi.

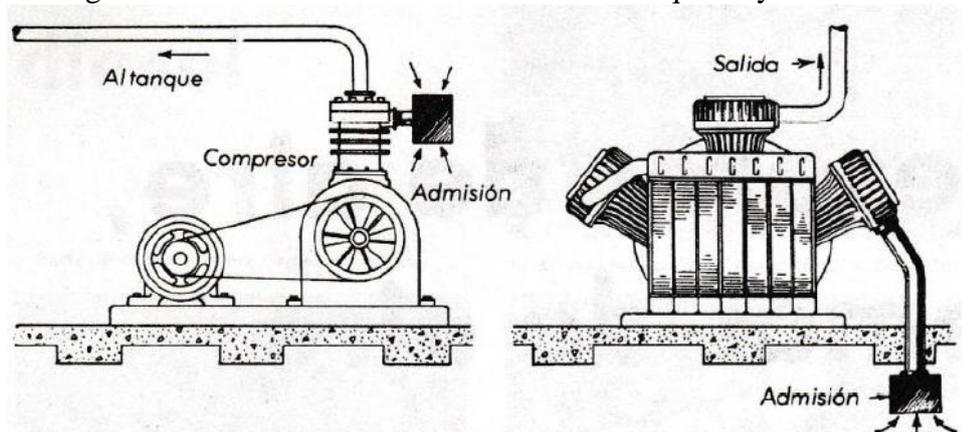
La red consta también con un secador de aire, filtro regulador ubicado a la salida del compresor con una tubería principal de $\frac{3}{4}$ de pulgada distribuida de tal manera que forma dos anillos cerrados para cada laboratorio. La tubería secundaria de $\frac{1}{2}$ pulgada forma una garrota o también conocido como cuello de cisne con una válvula esférica en su extremo para permitir el paso de aire a la línea de servicio.

En la red los equipos son nuevos teniendo un tiempo de utilización único de aproximadamente 25 horas en las cuales se realizaron pruebas de fugas y presión, por tal motivo no se ha realizado ningún tipo de mantenimiento.

4.1.2 *Instalación y ubicación del compresor.* Con la finalidad de reducir al mínimo la probabilidad de daño en el compresor fueron puestas en práctica las siguientes sugerencias que incluso pueden ser de gran utilidad en complejos sistemas de compresores de aire.

4.1.2.1 Ubicación de la toma de aire. Las tomas de aire ubicadas en el mismo cuarto de máquinas es muy común en instalaciones pequeñas pero no resulta la mejor opción debido a que el aire suele estar caliente junto al compresor, de la igual forma la admisión en el sótano no ayuda mucho debido a que el aire del suelo suele estar húmedo e igual de caliente que el cuerpo del compresor.

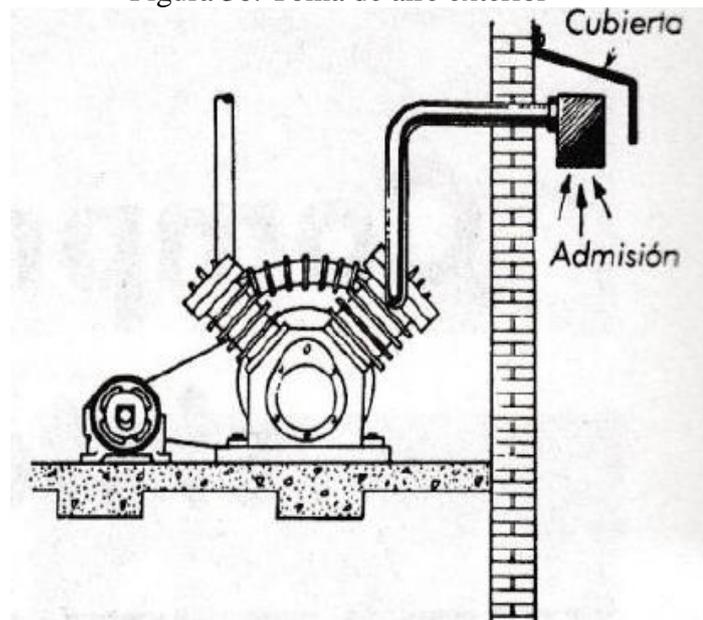
Figura 29. Admisión de aire en el cuarto de máquinas y sótano.



Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 55

La mejor opción resulta disponer de una entrada de aire ubicada en el exterior de la planta o del cuarto de máquinas ya que el aire está frío por lo tanto ocupa menor volumen logrando comprimir mayor cantidad de aire en cada carrera.

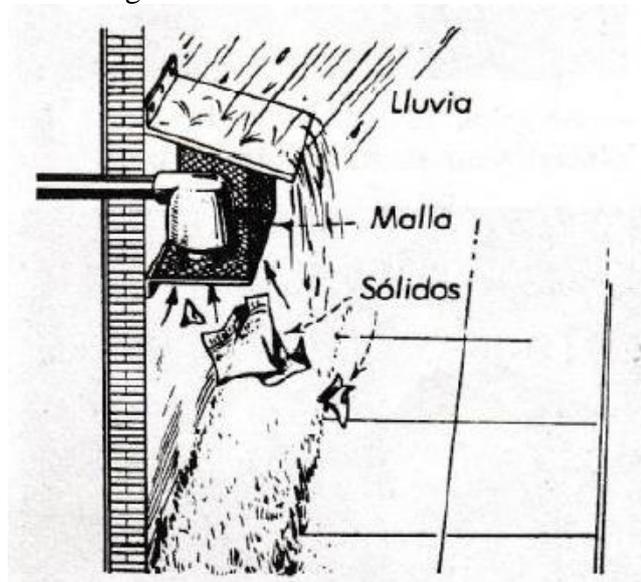
Figura 30. Toma de aire exterior



Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 55

4.1.2.2 Tomas de aire exterior. El filtro de admisión en el exterior se protege contra la lluvia con una cubierta y contra los sólidos con una malla esto evita que los papeles y otros cuerpos obstruyan el filtro.

Figura 31. Toma de aire exterior

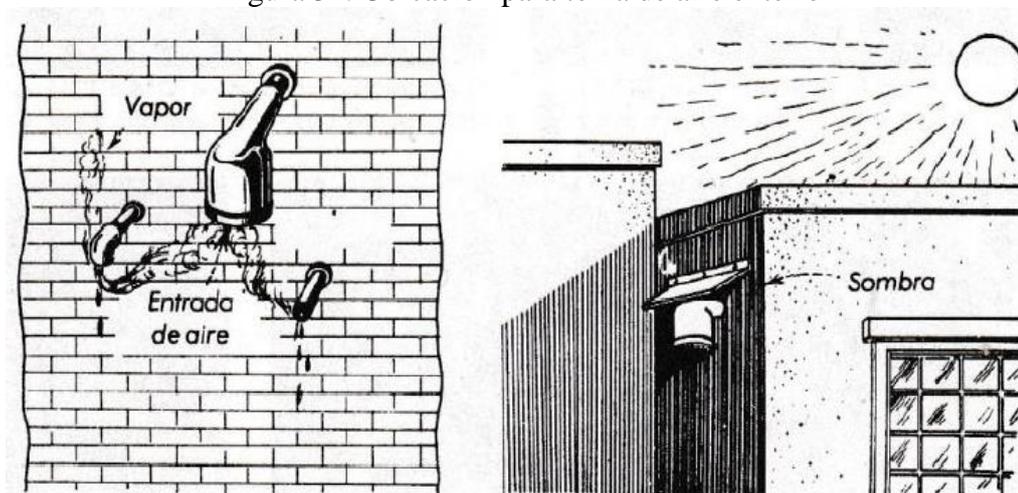


Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 55

Las tomas de aire no deben ubicarse junto a tubos de drenaje o escapes de vapores debido a que estos gases o vapores pueden ser succionados.

De igual forma si es posible se debe ubicar la toma al lado norte del edificio o donde un techo haga sombra con la finalidad de que el aire se encuentre lo más frío posible.

Figura 32. Ubicación para toma de aire exterior



Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 55

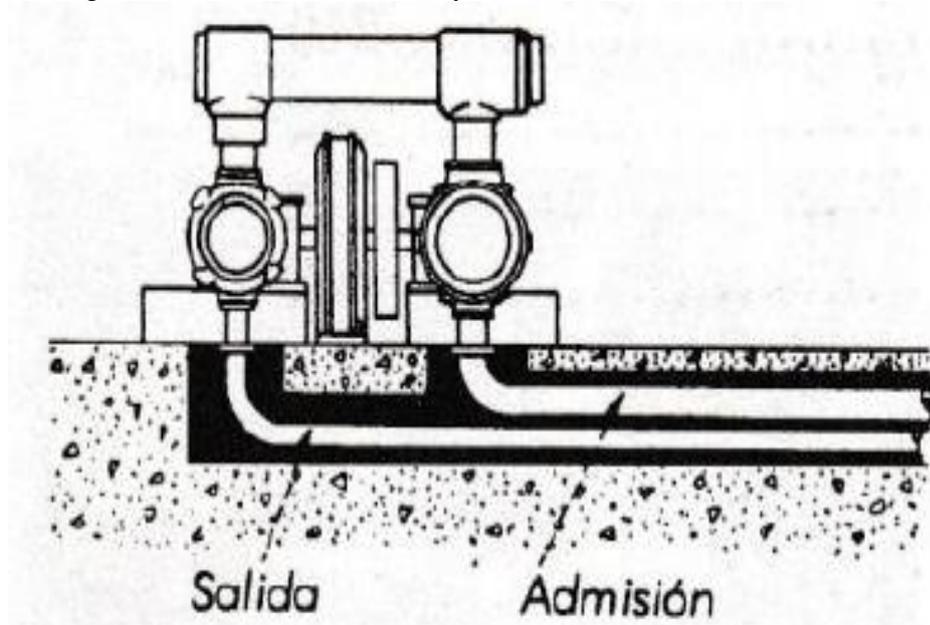
Figura 33. Ubicación para sala del compresor



Fuente: Autores

- *Instalación de tubos de admisión.* Los tubos de descarga y de admisión nunca deben estar en el mismo conducto debido a que se eleva la temperatura en la admisión.

Figura 34. Tubos de admisión y salida en el mismo conducto.

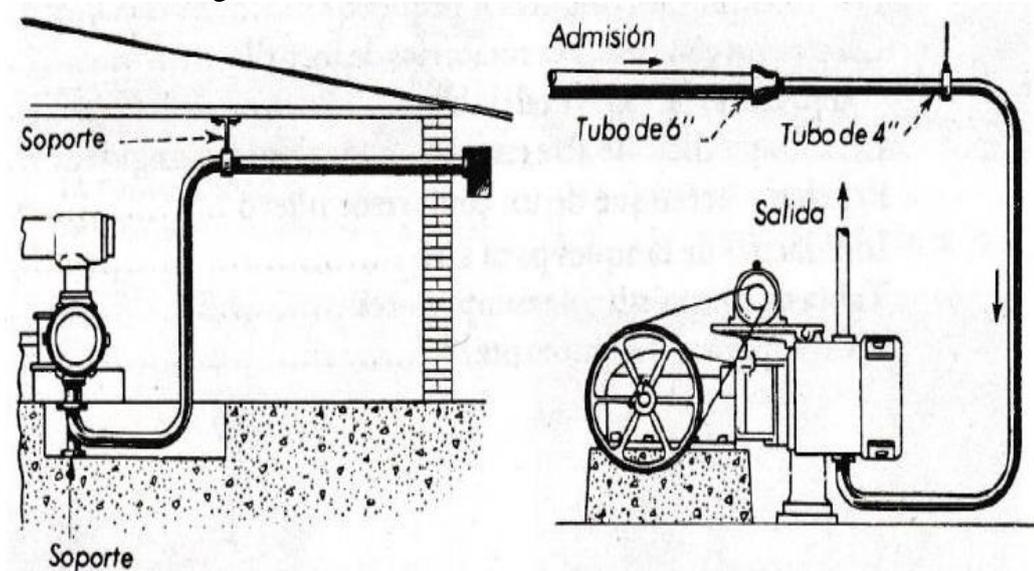


Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 56

Se debe soportar los tubos de entrada de aire en compresores grandes, debido a que el peso de estos tubos esta contra el cilindro por lo que se puede desalinear el compresor llegando a necesitar reparaciones costosas.

En el caso de disponer de tomas de aire a distancias considerables, por cada 15 pies de tubo se debe aumentar 2 pulgadas el diámetro de la tubería teniendo en cuenta que el diámetro del tubo en la conexión de entrada debe ser el mismo o mayor.

Figura 35. Características de tubos de entrada de aire



Fuente: Equipos industriales Mc Graw Hill pág. 62

- *Ubicación de nuestro compresor y su toma de aire.* Las características de la ubicación de nuestro compresor y de la toma de aire son las siguientes:

El compresor se lo ubico fuera del edificio de la Escuela de Ingeniería Industrial en la parte posterior de los laboratorios de neumática y automatización logrando una ubicación en la dirección norte del edificio y frente al modular 2 de la misma escuela proporcionando la suficiente sombra para evitar que se consuma aire demasiado caliente o que se caliente el aire que se encuentra en el interior del tanque.

Debido a que la toma de aire forma un solo conjunto con el compresor no es recomendable instalar tubos de admisión de aire o una toma fuera del cuarto que se encuentra el compresor ya que la misma tiene suficiente ventilación.

El compresor viene incorporado con un filtro el cual impide el ingreso de partículas. El ingreso de otros gases o humedad que no sea del ambiente es nulo debido a que en el cuarto del compresor solamente se ha destinado para dicho fin.

4.1.3 *Gestión de mantenimiento de la red de aire comprimido.* El concepto actual de mantenimiento no implica reparar el equipo roto tan pronto como pueda sino mantener el equipo en operación a los niveles especificados y necesarios para lo cual se propone una política, metas y responsabilidades relacionadas con el mantenimiento de la red de aire comprimido.

4.1.3.1 *Política de mantenimiento de la red de aire comprimido.* Asegurar el funcionamiento de los equipos e instalaciones de aire comprimido para los laboratorios de neumática y automatización buscando cada vez un máximo rendimiento con un consumo mínimo.

4.1.3.2 *Metas del mantenimiento de la red de aire comprimido.* Proporcionar aire comprimido a la red durante el transcurso del presente semestre sin provocar paros de funcionamiento por revisiones no realizadas o en su defecto por revisiones no programadas.

4.1.3.3 *Responsables del mantenimiento de la red de aire comprimido.* La responsabilidad del mantenimiento de la red de aire comprimido es una tarea de todos los beneficiados por dicha red.

- La dirección encargada de establecer procedimientos para la evaluación de la eficiencia del presente plan de mantenimiento
- Los docentes colaborando con la organización y el cumplimiento de las actividades relacionadas con el mantenimiento
- Los estudiantes aportando con buenas prácticas de utilización de la red y colaborando con las actividades programadas adquiriendo y utilizando conocimientos prácticos relacionados con la generación de aire comprimido.

4.1.4 *Documentos para la Gestión de Mantenimiento.* Con la finalidad de llevar un registro de las actividades realizadas en los equipos de la red, los responsables y los tiempos empleados se propone una codificación para cada uno de los equipos y varias fichas técnicas que se presentan a continuación.

4.1.4.1 Codificación de equipos. La codificación que se propone para los distintos equipos de la red consta de dos partes literarias y dos partes numéricas, la primer parte literaria compuesta de 2 letras en mayúscula (AC) cuya utilización hace referencia al aire comprimido tratando de evitar confusiones con codificaciones futuras que se puedan dar a equipos ajenos a este sistema, la segunda parte literaria está compuesta de las tres primeras letras del equipo en minúsculas y está ubicada al final del código luego de la parte numérica.

La primera parte numérica hace referencia a equipos similares que se encuentren en la red y que son contados desde la sala del compresor.

Siendo un ejemplo claro el compresor, el mismo que tendrá un código (AC1-XX-com) y en el caso que llegara a incluirse otro compresor, este, tendría una codificación (AC2-XX-com).

En la segunda parte numeral se describe el equipo o dispositivo en orden tomando como referencia la ruta que toma el aire, entonces para el compresor la codificación completa seria: (AC1-01-com).

A continuación se enlista los códigos designados a los equipos que componen la red.

Titulo 10. Códigos de los equipos de la red de aire

Equipo	Código
Compresor	AC1-01-com
Filtro regulador	AC1-02-fir
Filtro coalescente	AC1-03-fco
Purgador 1	AC1-04-pur
Purgador 2	AC2-04-pur
Tubería/Accesorios $\frac{3}{4}$	AC1-05-tub
Tubería/Accesorios $\frac{1}{2}$	AC1-06-tub
Manguera/acoples de servicio	AC1-07-man

Fuente: Autor

4.1.4.2 *Registro del Equipo.* Se lo realiza con la finalidad de conocer las características técnicas de cada uno de los equipos que se utilice a más de ciertas observaciones.

Los registros de los distintos equipos se presentan en el Anexo H.

4.1.4.3 *Historial del equipo.* Al igual que en el registro de equipo, en el historial también se tendrá que llevar uno por cada equipo que esté presente en la red con la finalidad de que este tipo de documentación esté disponible para toda persona encargada del mantenimiento. El modelo del historial del equipo que se utilizara para la gestión de mantenimiento de la red de aire comprimido se presenta también en el Anexo H.

4.1.4.4 *Solicitud de trabajo de mantenimiento.* Se ve la necesidad de utilizar una solicitud de trabajo de mantenimiento con el fin de delegar a determinadas personas ciertas actividades, evitando así el desorden y logrando una atención completa de toda la red Anexo H.

4.1.4.5 *Plan de mantenimiento.* Debido a que la gestión de mantenimiento no es otra cosa que el conjunto de medidas elaboradas para atender a muestra instalación de aire comprimido todos estos documentos no estarían completos sin un plan de mantenimiento preventivo el mismo que se presenta en el Anexo I. Tiene como característica que las tareas necesarias están divididas de acuerdo al tiempo de su realización. Los tiempos que se disponen para la realización de las distintas tareas fueron propuestos en base a catálogos y recomendaciones de los proveedores de los distintos equipos que se encuentran en la red.

4.2 Recomendaciones de operación

4.2.1 Descripción de equipos

4.2.1.1 *Compresor.* Este compresor de aire está diseñado para suministrarle aire comprimido a herramientas neumáticas y demás equipos, el cabezal de esta unidad esta lubricado con aceite por lo que el aire suministrado puede contener residuos de aceite por

lo que para utilizarlo en aplicaciones que requieran el suministro de aire sin residuos se debe preparar utilizando filtros y demás.

El código del fabricante del compresor para nuestra red es VT470000KB, llegando el cabezal a tener una capacidad de 0,35 litros de aceite aproximadamente de las especificaciones SAE 30 de calidad industrial para compresor de aire o un aceite sintético tipo Móvil 1 10W-30. Los elementos que conforman el compresor tienen una codificación propia del fabricante que se presenta en el Anexo J con el fin de que se pueda realizar la adquisición de repuestos.

4.2.1.2 Filtro-Regulador. El filtro-regulador al no tener características especiales, su capacidad de retención, es de partículas superiores a 5 μm , Su principio de funcionamiento es el de un filtro ciclónico logrando un movimiento rotativo con el que se proyectan las partículas de mayor tamaño y partículas líquidas a la pared interior del filtro, para que luego el aire pueda pasar por un filtro de material sintetizado altamente poroso.

Su presión máxima de funcionamiento 150 psi a una temperatura máxima de 60 °C.

4.2.1.3 Filtro coalescente. También conocido como filtro de capas múltiples el mismo que ofrece una alta retención de aceite por aerosol o bruma de aceite y una gran retención de humedad debido a que las partículas coalescen formando gotas de mayor tamaño debido a que se ponen en contacto unas con otras, aumentando su tamaño hasta que se desprenden del elemento filtrante y caen por gravedad.

La presión de funcionamiento del filtro coalescente es de 150 psi .

4.2.1.4 Red de tuberías. Como ya se indicó, nuestra red de aire comprimido llega a formar 2 anillos cerrados con 10 tomas de aire en forma de garrota para cada laboratorio.

Se dispone de una válvula esférica de diámetro nominal $\frac{3}{4}$ ubicada delante del filtro coalescente en el interior del edificio para el paso de aire para todo el sistema.

En el laboratorio, la red en anillo cerrado dispone de válvulas que permiten el aislamiento de ciertos tramos de tubería con el fin de no suspender el resto de tomas que pueden seguir funcionando mientras que en el tramo aislado se puede realizar trabajos de mantenimiento.

4.2.2 *Pasos recomendados para la utilización del aire comprimido.* Para el correcto funcionamiento de la red de aire comprimido, a más del manual de instrucciones para el compresor presentados en el Anexo K, se ha determinado una serie de pasos relacionados con la manipulación del resto de equipos y accesorios que se encuentran en la red. Dichos pasos se presentan en el Anexo L.

CAPÍTULO V

5. ESTUDIO ECONÓMICO

5.1 Costos

5.1.1 *Los costos directos.* Los costos directos son los que se relacionan directamente con el proyecto, se clasifican en:

- Costos de Materiales y equipos
- Costos de mano de obra directa

Tabla 11. Costos de materiales y equipos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Compresor resiprocante Campbell Hausfeld 3.2 hp	Unidad	1	725,00	725,00
2	Filtro regulador	Unidad	1	85,00	85,00
3	Filtro Coalescente	Unidad	1	125,00	125,00
4	Purgadores	Unidad	2	62,00	124,00
5	tubo galvanizado 3/4	Tubo 6 metros c/u	11	15,50	170,50
6	Tubo galvanizado 1/2	Tubo 6 metros c/u	3	10,15	30,45
7	Válvula esférica 3/4	Unidad	12	4,40	52,80
8	Válvula esférica 1/2	Unidad	20	3,50	70,00
9	Tes 3/4	Unidad	24	0,48	11,52
10	Codo 3/4	Unidad	10	0,35	3,50
11	Universales	unidad	18	1,40	25,20

12	Bushing 3/4-1/2	Unidad	22	0,30	6,60
13	Reducciones de acero	Unidad	20	\$ 2,50	50,00
	Neplos 4 in	Unidad	10	\$ 0,65	6,50
	Neplos 6 in	Unidad	10	\$ 0,85	8,50
14	Teflón Industrial PTFE	Unidad	20	1,25	25,00
15	Sellador industrial	Unidad	8	5,50	44,00
16	Toma corriente 220V	Unidad	1	6,25	6,25
17	Enchufe pata de gallina	Unidad	1	8,50	8,50
18	Canaleta	metro	8	2,65	21,20
19	Cable # 10	metro	34	0,85	28,90
20	Switch 50 amp	Unidad	1	9,25	9,25
21	Manguera en espiral / acoples	Juego	20	15,00	300,00
22	Platinas 1 1/2 x 1/4	Unidad 3 metros C/u	2	11,75	23,50
23	Pernos de expansión	Unidad	50	0,45	22,50
24	Pintura azul	Litro	4	3,75	15,00
25	Tiñer	litro	3	1,80	5,40
26	Cemento	Quintal	4	7,75	31,00
27	Varilla	Unidad 6 metros	2	4,90	9,80
28	Ladrillos	Unidad	250	0,12	30,00
29	Tablas	Unidad	8	2,40	19,20
30	Clavos	Libra	1	0,90	0,90
31	Alambre	Libra	1	0,90	0,90
Total Costos Materiales y Equipos					2.095,87

Fuente: Autor

5.1.1.2 Costos de mano de obra directa. No se toma en cuenta la mano de obra directa debido a que se trata de un proyecto de tesis en donde se incluye el diseño de la red y demás consideraciones.

5.1.2 Los costos indirectos. Los costos indirectos son los que se utilizan para la realización del proyecto pero que no se relacionan directamente con el mismo, se clasifican en:

- Costos de Materiales indirectos
- Costos de mano de obra indirecta
- Otros Indirectos

Tabla 12. Costos materiales indirectos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio Total (USD)
1	Tarraja	juego	1	58,00	58,00
2	Broca 5/16	unidad	4	2,50	10,00
3	Broca 1/4	unidad	4	2,20	8,80
4	Broca 3/16	unidad	4	1,85	7,40
5	Guaípe	libra	2	1,00	2,00
Total Costos materiales indirectos					86,20

Fuente: Autor

Tabla 13. Mano de obra indirecta

Descripción de rubros	Cantidad	Valor unitario (USD)	Valor total (USD)
Ganchos de sujeción	20	3,50	70,00
Garrotas	20	2,50	50,00
Roscado	80	0,50	40,00
Total costos Mano de obra indirecta			160,00

Fuente: Autor

Tabla 14. Otros indirectos

Descripción del rubro	Unidad	Cantidad	Valor unitario (aproximadamente) (USD)	Valor total (USD)
Fletes materia prima	Carreras	18	6,00	108,00
Alimentación	Almuerzos	75	2,00	150,00
Total Otros Indirectos				258,00

Fuente: Autor

5.1.3 Costo total de proyecto. El costo total del proyecto corresponde a la suma del costo directo y costo indirecto.

Tabla 15. Costo total de proyecto.

	Descripción del Costo	Valor (USD)
Costos Directos	Costos de materiales y equipos	2.095,87
Costos Indirectos	Costos de materiales indirectos	86,20
	Mano de obra indirecta	160,00
	Otros indirectos	258,00
Costo total del proyecto		2.600,07

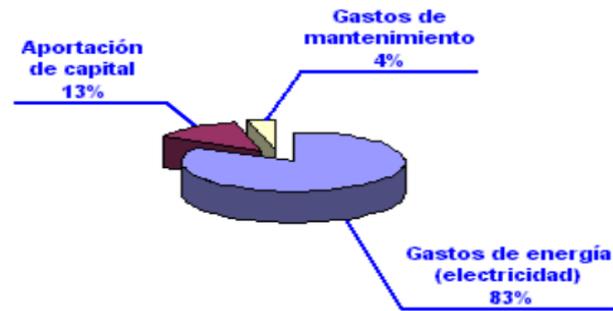
Fuente: Autor

5.2 Guía para el ahorro de energía en la red de aire comprimido

5.2.1 Generalidades. Debido a que el uso de aire comprimido es versátil y seguro se usa de forma intempestiva en la pequeña, mediana y gran industria, sin embargo su costo generalmente no se asocia a los costos de producción, a pesar de que utiliza, sin lugar a dudas, una cantidad sumamente significativa de energía, por lo que en muchos casos llega a ser más caro que la electricidad, el gas, y en algunos casos el agua.

5.2.2 Gastos en una instalación de aire comprimido. En un sistema de aire comprimido con un tiempo de vida que puede ir desde los 10 a los 15 años se puede obtener una distribución de gastos de la siguiente manera. (BOGE, 2009)

Figura 36. Gastos de una instalación de aire comprimido



Fuente: Autor

Debido a este elevado porcentaje de consumo de energía se hace necesario tomar medidas que puedan ayudarnos a incrementar el desempeño de la red, evitando un uso ineficiente de energía aumentando así la productividad de nuestra red.

Adicional a estos datos se debe tener en cuenta que entre un 80% y 93% de la energía eléctrica utilizada por un compresor se convierte en calor, mismo que podría ser recuperado con la ayuda de un diseño apropiado de recuperación de calor logrando desde un 50% hasta un 90% de energía térmica recuperada.

5.2.3 Medidas de ahorro de energía. En nuestro sistema de aire comprimido. Debido que el aire comprimido forma una parte indispensable de una empresa sea esta grande o pequeña, es muy poco probable que se pueda privar de este recurso u optar por otro que presente las mismas características y que se emplee para los mismos fines debido a la fácil obtención de la materia prima que como se mencionó en los capítulos anteriores se la puede obtener en cantidades ilimitadas y en el lugar que se requiera.

El principal inconveniente que se presenta al utilizar aire comprimido radica en gran medida en su preparación y con un grado un tanto inferior en su óptima utilización debido a que el inadecuado mantenimiento de la red y en especial a la tubería puede provocar fugas, las cuales significaran a corto y largo plazo una pérdida muy significativa en el aprovechamiento total de este medio energético.

Para lo cual se presenta un grupo de recomendaciones útiles con la finalidad de aprovechar al máximo nuestra instalación la cual está conformada por varios equipos y accesorios.

Tabla 16. Medidas para el ahorro de la energía

Puntos de aplicación	Justificativo	Actividades a realizar
Calidad de aire comprimido	A más calidad de aire mayor será el costo para producirlo	Se debe considerar cuidadosamente las necesidades del proceso para determinar los equipos adecuados para la correcta preparación del aire
Cantidad de aire	Sobredimensionamiento de compresores es ineficiente consumiendo más energía por unidad de volumen de aire producido debido a que trabaja de forma parcial	Se debe realizar una valoración exacta del consumo que se tendrá incluso en horas pico e incluyendo ampliaciones futuras sin excederse de los valores obtenidos, se recomienda también no dar uso inapropiado del aire de la red
Nivel de presión requerido	a mayor presión el sistema será más costoso, afectaciones a las unidades consumidoras, a menor presión el funcionamiento será menos eficiente	Realizar una valoración exacta de la presión que se necesita en cada unidad consumidora y en cada proceso evitando distintas regulaciones para cada unidad consumidora
Fugas	Produce caídas de presión trayendo consigo trabajos ineficientes de los equipos, aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión	Cuidar que el porcentaje de fugas no exceda el 10% de la capacidad del compresor, registrar el periodo de carga y no carga, si el periodo aumenta quiere decir que los niveles de fugas han aumentado
Control en compresores	Lograr que la oferta de aire sea lo más cercana a la demanda de nuestro sistema	Se obtiene un ahorro de energía gracias a que el medio de control mantiene en forma precisa un promedio de presión más bajo sin ir por debajo del mínimo requerido

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se diseñó una red de aire comprimido para los Laboratorios de Automatización y Neumática, logrando obtener una presión adecuada para el funcionamiento de los equipos que conforman estos laboratorios, proporcionando a las unidades consumidoras la suficiente calidad de aire para su correcto funcionamiento y conservación, a más del caudal de aire necesario para su actual funcionamiento y considerando ampliaciones futuras.

Fue seleccionado un sistema de preparación de aire en base a la calidad de aire que se requiere tomando en cuenta el tamaño de partículas y cantidad de humedad admisible para los equipos, un compresor con la suficiente capacidad de proporcionar el caudal requerido para el sistema y tuberías con accesorios de diámetros adecuados y de materiales capaces de resistir las condiciones de funcionamiento de la red, evitando pérdidas de presión innecesarias.

La red de aire comprimido fue implementada poniendo en práctica recomendaciones técnicas tales como ubicación, espacios, tomas en forma de garrota, facilidades de montaje y desmontaje y formas de distribución de la red, con la finalidad de lograr el mejor funcionamiento de la misma permitiendo al mismo tiempo actividades de mantenimiento sin la necesidad de suspender el flujo de aire.

Se elaboró un plan de mantenimiento proponiendo una codificación para los equipos y fichas técnicas en las cuales se detallaran las actividades a realizarse, estas fichas técnicas pasaran a formar parte de un expediente de todas las medidas realizadas, relacionadas con el mantenimiento, a más de que se enlista una serie de pasos secuenciales que ayudaran a la correcta manipulación y utilización de los distintos equipos que se encuentran en la red de aire comprimido.

6.2 Recomendaciones

Emplear elementos neumáticos tales como actuadores que no sean de fabricación artesanal debido a que se obtiene un elevado nivel de perdidas en la presión, un inadecuado funcionamiento del equipo, y consumo excesivo en el caudal de aire.

Utilizar el aire comprimido únicamente para fines necesarios procurando utilizar en cada módulo generadores de vacío propios que al final tendrán un consumo de energía eléctrica mucho menor al consumo que se presenta por la utilización de aire para producir vacíos mediante la utilización del principio Venturi.

Controlar el apareamiento de fugas y mitigarlas lo más pronto posible debido a que los orificios o las causas de las fugas pueden empeorar conforme pasa el tiempo aumentando así el consumo de energía, provocando el mal funcionamiento de los equipos y deterioro de la red, se puede dotar de un sistema de medidores de tiempo, con lo cual se puede llevar un registro de los periodos de carga y no carga, con la finalidad de que cualquier aumento en dichos periodos y bajo las mismas condiciones de producción indiquen el aumento de fugas.

Aplicar el mantenimiento a cada equipo que conforma la red de aire comprimido, en los tiempos que se establece en el plan de mantenimiento, llevando en orden y actualizada la documentación de las fichas técnicas con sus respectivos responsables y actividades realizadas.

Seguir los pasos recomendados para la correcta manipulación y utilización de los distintos equipos que se encuentran en la red de aire comprimido, sin la utilización de herramientas que por medio de golpes o cortes puedan dañar total o parcialmente los equipos que se encuentran en la red.

BIBLIOGRAFÍA

BOGE. 2009. *Calidad de aire comprimido / ahorro energético* . 2009.

GÓMEZ, ESTEBAN HINCAPIÉ. 2003. redes de aire comprimido . *monografias.com*. [En línea] 10 de 11 de 2003. <http://www.monografias.com/trabajos16/redes-de-aire/redes-de-aire.shtml>.

HESSE. 2002. *Aire comprimido, fuente de energía*. s.l. : Blue Digest Automation , 2002.

IGLESIAS. 2013. Diseño de redes de distribución . *SlideShare* . [En línea] 02 de 03 de 2013. <http://es.slideshare.net/aicvigo1973/tema-4-neumatica-red-de-distribucion>.

INGEMECÁNICA. 2014. Diseño de Sistemas de aire comprimido . *INGEMECÁNICA* . [En línea] 8 de 7 de 2014. <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>.

MANUAL. 2005. *Tratamiento y distribución del aire comprimido* . 2005.

OSCULLO. 20011. *Diseño de la red de aire comprimido* . Sangolqui : s.n., 20011.

PARKER. 2003. *Tecnología Neumatica Industrial* . Jacarel : Apostilla, 2003.

ANEXOS

PLANOS