



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

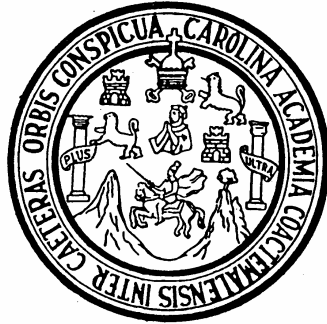
**PROYECTO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA
LOS TALLERES DEL CENTRO DE CAPACITACIÓN INTECAP
RETALHULEU**

MAYNOR IVAN MÉNDEZ SOTOJ

Asesorado por: Ing. Víctor Gustavo Méndez Sotoj

Guatemala, septiembre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROYECTO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA
LOS TALLERES DEL CENTRO DE CAPACITACIÓN INTECAP
RETALHULEU**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MAYNOR IVAN MÉNDEZ SOTOJ

ASESORADO POR ING. VÍCTOR GUSTAVO MÉNDEZ SOTOJ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

Guatemala, septiembre de 2004

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I:	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II:	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III:	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV:	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR:	Ing. Roberto Guzmán Ortiz
EXAMINADOR:	Ing. José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR:	Ing. Gilberto Enrique Morales Baiza
SECRETARIO:	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

PROYECTO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS TALLERES DEL CENTRO DE CAPACITACIÓN INTECAP RETALHULEU

Tema que me fuera asignado por la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 8 de marzo de 2004.

Maynor Ivan Méndez Sotoj

DEDICATORIA

- A Dios** Por la oportunidad de superarme y por las bendiciones que ha derramado en nuestras vidas.
- A mis padres** José Víctor Méndez Hernández y Norberta Sotoj de Méndez. Por su ejemplo de trabajo, honradez y dedicación que fruto de ello se deriva este su triunfo.
- A mis hermanos** Víctor Gustavo, Anabella, Clarisa, Amparo, Carlos, Susana, Delia, José Estuardo y Waleska. Por su apoyo incondicional en todo momento y para que este acto nos sirva de unión y amor hacia la familia.
- A mis sobrinos** Susana, Gerson, Emmanuel, Andrea y José. Que mi triunfo sea estímulo para su superación.
- A mis tíos** Por su apoyo en todo momento.
- A mi familia en general** Con mucho cariño.
- A mis amigos** Por los momentos compartidos.
- A la Universidad de San Carlos de Guatemala**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XII
INTRODUCCIÓN	XIII
1. GENERALIDADES	
1.1 Descripción de la institución	1
1.1.1 Descripción del centro de capacitación INTECAP, Retalhuleu	2
1.2 Descripción de los talleres de formación	2
1.3 Políticas de la institución	3
1.4 Visión y misión de la institución	4
2. FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA Y AIRE COMPRIMIDO	
2.1 Historia de la neumática	5
2.2 Propiedades del aire comprimido	6
2.2.1 Ventajas y desventajas	7
2.3 Fundamentos básicos	10
2.3.1 Unidades básicas	10
2.3.2 Unidades derivadas	11
2.3.3 El aire es comprensible	11
2.4 Producción del aire comprimido	13
2.4.1 Generadores	13

2.4.2	Tipos de compresores	14
2.4.2.1	Compresor de émbolo	15
2.4.2.1.1	Compresor de émbolo oscilante	15
2.4.2.1.2	Compresor de membrana	16
2.4.2.2	Compresor de émbolo rotativo	16
2.4.2.2.1	Compresor rotativo multicelular	17
2.4.2.2.2	Compresor de tornillo helicoidal	17
2.4.2.2.3	Compresor <i>root</i>	18
2.4.2.3	Turbocompresores	18
2.4.2.3.1	Turbocompresor axial	18
2.4.2.3.2	Turbocompresor radial	19
2.4.3	Elección del compresor	19
2.4.3.1	Caudal	19
2.4.3.2	Presión	20
2.4.3.3	Accionamiento	20
2.4.3.4	Regulación	21
2.4.4	Refrigeración	24
2.4.5	Lugar de emplazamiento	25
2.4.6	Acumulador de aire comprimido	25

3. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

3.1	Dimensiones de las tuberías	27
3.1.1	Cálculo de una tubería	28
3.2	Tendido de la red	28
3.3	Material de tuberías	30
3.3.1	Tuberías principales	30
3.3.2	Derivaciones hacia los receptores	31
3.3.3	Tubos de color en instalaciones neumáticas	33
3.4	Racores para tubos flexibles	33

3.4.1	Uniones y acoplamientos	34
3.4.1.1	Racores para tubos	34
3.4.1.2	Acoplamientos	34
4.	PREPARACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	
4.1	Impurezas	35
4.2	Filtrado del aire comprimido	36
4.2.1	Filtro de aire comprimido	37
4.2.2	Filtro con regulador de presión	38
4.3	Reguladores de presión	39
4.3.1	Válvula reguladora con escape sin compensación del caudal	39
4.3.2	Válvula reguladora sin escape con compensación del caudal	40
4.3.3	Válvula reguladora con compensación del caudal	41
4.4	Lubrificación de aire comprimido	42
4.4.1	Lubrificador del aire comprimido	44
4.5	Unidad de mantenimiento	45
4.5.1	Conservación de las unidades de mantenimiento	46
4.6	Secado del aire comprimido	47
4.6.1	Secado por absorción	50
4.6.2	Secado por adsorción	51
4.6.3	Secado en frío	52
4.7	Purga automática del condensado	54
4.8	Manómetro	55
4.9	Cuadro de aceites	56

5. DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS TALLERES DEL CENTRO DE FORMACIÓN INTECAP RETALHULEU	
5.1 Situación actual de los talleres de INTECAP Retalhuleu	57
5.1.1 Necesidades de aire comprimido	57
5.1.2 Capacidad del compresor	58
5.1.3 Capacidad del acumulador	58
5.2 Cálculo de la red de distribución de aire comprimido	59
5.2.1 Presión de trabajo	59
5.2.2 Caudal necesario	60
5.2.3 Longitud equivalente de los accesorios	60
5.2.4 Diámetro de la tubería	62
5.3 Programa de mantenimiento propuesto	66
5.3.1 Compresor	66
5.3.1.1 Detección de fallas en el compresor	67
5.3.1.2 Mantenimiento para el compresor	68
5.3.2 Mantenimiento a la red de distribución	69
5.3.2.1 Líneas principales de aire, líneas en general, y accesorios	70
5.3.2.2 Unidad de mantenimiento	71
5.3.2.3 Válvula de conexión y desconexión de línea	71
5.4 Presupuesto del proyecto	72
5.4.1 Tiempo aproximado de instalación	72
5.4.2 Costo de materiales	72
5.4.3 Costo de mano de obra	73
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	77
BIBLIOGRAFÍA	79
ANEXOS	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Diagrama de los tipos de compresores	14
2.	Compresor de émbolo oscilante	15
3.	Compresores: con refrigeración intermedia y de membrana	16
4.	Compresor rotativo multicelular y compresor de tornillo helicoidal	17
5.	Compresor <i>roots</i>	18
6.	Compresor axial y compresor radial	18
7.	Regulación: por escape a la atmósfera y por aislamiento	22
8.	Regulación por apertura de la aspiración	22
9.	Refrigeración por circulación de agua: circuito cerrado y abierto	24
10.	Acumulador	25
11.	Red abierta	29
12.	Red cerrada	29
13.	Red cerrada con interconexiones	30
14.	Instalación típica de aire comprimido	32
15.	Boquilla con tuerca de racor y boquilla	33
16.	Racores rápidos para tubos flexibles de plástico	33
17.	Racor cs	33
18.	Racores de anillo cortante y racor con anillo de sujeción	34
19.	Racor con borde recalcado y racor especial con reborde	34
20.	Base de enchufe rápido y racor de enchufe rápido	34
21.	Filtro de aire comprimido	37
22.	Filtro de aire comprimido con regulador de presión	38
23.	Válvula reguladora de presión, sin compensación del caudal	39
24.	Válvula reguladora, sin compensación del caudal, sin escape	40

25.	Válvula reguladora de presión con compensación del caudal	41
26.	Principio de <i>venturi</i>	44
27.	Lubricador del aire comprimido	44
28.	Unidad de mantenimiento	46
29.	Refrigerador	49
30.	Secador por absorción	51
31.	Secador por adsorción	52
32.	Secado en frío	54
33.	Purga automática	54
34.	Manómetro	56
35.	Plano de tubería de aire comprimido para los talleres de INTECAP Retalhuleu	81

TABLAS

I	Unidades y símbolos	10
II	Unidades y símbolos derivados	11
III	Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería	28
IV	Diámetro aproximado aconsejado para diferentes flujos	32
V	Aceites utilizados en los lubricadores del aire	56
VI	Presiones de aire en las herramientas neumáticas	59
VII	Presiones de aire en las herramientas neumáticas	59
VIII	Caudales de aire en las herramientas neumáticas	60
IX	Caudales de aire en las herramientas neumáticas	60
X	Longitud equivalente de tubería recta para válvulas y accesorios	61
XI	Factores de pérdidas de presión debido a la fricción en tuberías	63
XII	Síntomas y causas probables de fallas en el compresor	67
XIII	Mantenimiento para los compresores reciprocantes	68

XIV	Mantenimiento para líneas de aire	70
XV	Mantenimiento para unidad de mantenimiento	71
XVI	Mantenimiento para válvulas	71
XVII	Programación de tiempo y actividades estimada del proyecto	72
XVIII	Cotización de materiales	71

GLOSARIO

Absorción	Procedimiento puramente químico de admitir en una materia sólida o líquida, otra gaseosa o líquida.
Adsorción	La base del principio de adsorción es un procedimiento físico, fijación de gases, vapores y sustancias disueltas en la superficie de un cuerpo sólido.
Aire comprimido	Aire a presión, es una fuente de energía obtenida con compresores, que sirve como agente de transporte a través de tubos para hacer funcionar herramientas neumáticas.
Automatización	Proceso de mecanización de las actividades industriales para reducir la mano de obra, conseguir que sea más rápida y más segura.
Caudal	Es el flujo en volumen por segundo que pasa por una tubería o por una abertura. Las unidades más usadas tenemos m^3/s y p^3/min , pies cúbicos por minuto (cfm).
Caudal teórico	El caudal teórico es igual al producto de cilindrada por velocidad de rotación.

Cilindrada	Volumen desplazado por el pistón cuando va del punto muerto inferior al punto muerto superior.
Energía	Capacidad para producir un efecto. Las unidades para expresar la energía tenemos Btu y KJ.
Grado de saturación	Es la cantidad de agua que un m ³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada.
Humedad absoluta	Cantidad de agua contenida en un m ³ de aire.
Presión	Se denomina presión a la fuerza por unidad de superficie ejercida por un medio sobre su límites. Las unidades comunes son bar y psi.
Presión de servicio	Es la suministrada por el compresor o acumulador y existe en las tuberías que alimentan a los consumidores.
Temperatura	Es un índice de la energía interna relativa de la masa. Las unidades más usadas °C y °F .
Volumen	Espacio ocupado por un cuerpo o sustancia. Las unidades más comúnmente utilizadas tenemos m ³ y pie ³ .

RESUMEN

El Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), y específicamente los talleres de formación del centro de Retalhuleu, tiene dos generadores de aire comprimido que, en su actual situación no desarrollan el potencial para el cual están diseñados y por tanto no satisfacen adecuadamente a todos los talleres que necesitan este servicio. El presente trabajo de graduación, expone un planteamiento del problema y la solución más conveniente con base a un diseño y cálculo acorde a las necesidades que exige cada taller.

El objetivo que persigue este trabajo, es aprovechar los equipos generadores con que se cuentan y que éstos brinden un servicio eficiente, económico y de alta calidad. El trabajo de graduación consta de cinco capítulos; inicia con la identificación del INTECAP, el segundo se enfoca en los fundamentos de la neumática y el aire comprimido, donde se incluyen las unidades generadoras, el siguiente abarca la distribución del aire comprimido, el penúltimo describe la preparación del aire comprimido y el último desarrolla el diseño, cálculo, mantenimiento de los equipos e instalaciones neumáticas completado con el presupuesto del proyecto.

OBJETIVOS

Generales

Diseñar una red de aire comprimido para los talleres de mecánica industrial, mecánica automotriz, enderezado y pintura del Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), Centro de Capacitación Región Sur Retalhuleu.

Específicos

1. Tener presente las propiedades y características del aire comprimido.
2. Proporcionar la cantidad correcta de aire a la presión y la calidad adecuada con mejora en el rendimiento y economía en los costos.
3. Tener un programa de mantenimiento preventivo para evitar fugas y fallas graves en las herramientas, equipos y líneas de aire comprimido.

INTRODUCCIÓN

A medida que los procesos de producción de bienes se vuelven más complejos, más importante es el papel de los fluidos en las máquinas y equipos industriales. Por este hecho, es importante trabajar de una manera planificada, ordenada y eficiente, para obtener las mayores ventajas permisibles de los equipos disponibles.

Considerando las necesidades del Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), Centro de Capacitación Retalhuleu Región Sur, en cuando a la realización del proyecto del diseño de la red de aire comprimido para los talleres de capacitación, se propone una descentralización en la utilización del equipo generador y distribuir a los diferentes talleres donde es necesario el fluido. El objetivo principal del proyecto, es distribuir aire en una cantidad correcta a la presión y calidad adecuada, con una economía de costos de materiales en distancia y dimensión, además, del máximo aprovechamiento del equipo generador de aire comprimido con un plan de mantenimiento efectivo y constante.

La estructura de este trabajo de graduación apunta inicialmente con la descripción, políticas y objetivos generales del INTECAP, seguido de una base teórica de los fundamentos de la neumática, generadores, tuberías, preparación y tratamiento del aire comprimido. Finalizando con el diseño, cálculo, mantenimiento y el presupuesto del proyecto de la instalación de la red de aire comprimido.

1. GENERALIDADES

1.1 Descripción de la institución

El Instituto Técnico de Capacitación y Productividad (INTECAP), fue creado por el decreto número diez y siete del diez y nueve de mayo de mil novecientos setenta y dos, como responsable de la formación profesional en Guatemala, y de asistir técnicamente a empresas que lo soliciten, con el fin de incrementar la productividad.

Es una entidad técnico-educativa descentralizada, no lucrativa, con patrimonio propio, fondos privativos y plena capacidad para adquirir derechos y contraer obligaciones.

Para ello, se diseñan y desarrollan programas, eventos presenciales y a distancia. Se han creado sedes regionales, centros de capacitación, delegaciones departamentales y departamentos de servicios directos al cliente; que ejecutan eventos de asistencia técnica y programas de habilitación, complementación, especialización y aprendizaje.

1.1.1 Descripción del centro de capacitación INTECAP, Retalhuleu

El centro de capacitación de Retalhuleu, se halla ubicado en el kilómetro 190 carretera al puerto Champérico, cuenta, dentro de sus instalaciones con diferentes talleres y laboratorios, tanto en el área industrial como artesanal que se propone fomentar a los participantes la iniciativa y la creatividad en los aspectos tecnológicos que están a la vanguardia, formando de esta manera nuevos modelos de enseñanza con los conocimientos adquiridos.

Los valores proclamados por la institución para la formación profesional incluyen el respeto a la persona, compromiso con la sociedad, trabajo en equipo, responsabilidad, compromiso hacia la productividad, fomento de identidad nacional, compromiso con el cliente mística de trabajo comunicación

1.1 Descripción de los talleres de formación

El centro de capacitación de Retalhuleu cuenta con talleres de distintas especialidades entre los cuales se pueden mencionar: el taller de mecánica automotriz, mecánica industrial, refrigeración y aire acondicionado, electricidad, enderezado y pintura. En el área artesanal, cocina, pastelería, además, se cuenta con un laboratorio de computo. Cada uno de ellos cuenta con los equipos y herramientas indispensables para la formación técnico profesional de cada estudiante egresado.

1.2 Políticas de la institución

Constituir el organismo técnico especializado del estado, al servicio de la nación y con la colaboración del sector privado, para el desarrollo de los recursos humanos y el incremento de la productividad sin perjuicio de las labores que realizan otros organismos y dependencias estatales en estos campos y otros afines.

Colaborar con los planes de desarrollo del gobierno en la consecución de las metas de formación y capacitación de la mano de obra.

Constituir un vehículo de armonía entre el sector privado y el público, propiciando una relación de trabajo y una cooperación más estrecha entre ambos sectores, en las materias que le competen.

Promover y fomentar el incremento de la productividad, en todos sus aspectos y niveles, y atender al desarrollo de los recursos humanos. Cuando otras personas o entidades realizaren estas funciones, el instituto prestará asesoría u orientación necesarias, para mantener en ellas un alto grado de efectividad y coordinación.

Colaborar con entidades que promueven el desarrollo económico-social del país, como organismo especializado en el incremento de la productividad y en la capacitación de los recursos humanos.

Emitir opinión y proporcionar asesoría al gobierno de la república y a las entidades privadas en su campo de acción.

1.3 Visión y misión de la institución

Visión

Ser la institución líder en formación profesional de los trabajadores y del recurso humano por incorporarse al mundo laboral.

Se visualiza el futuro de la institución diseñando y desarrollando planes de capacitación de impacto y fomentando la productividad, para una contribución significativa al desarrollo del país.

Estas acciones se desarrollan de forma inmediata, con calidad y excelencia, superando las expectativas de los clientes.

Ser los líderes en Centro América, en materia de capacitación.

Misión

Su misión, es ofrecer al sector productivo un servicio especializado en capacitación del recurso humano, a través de eventos de formación profesional a todos los trabajadores y nueva mano de obra, en las diversas actividades económicas.

2. FUNDAMENTOS DE NEUMÁTICA Y AIRE COMPRIMIDO

2.1 Historia de la neumática

La evolución en la técnica del aire comprimido

El aire comprimido es una de las formas de energía más antiguas que conoce el hombre y aprovecha para reforzar sus recursos físicos.

El descubrimiento consciente del aire como medio se remonta a muchos siglos, lo mismo que un trabajo más o menos consciente con dicho medio.

El primero del que sepamos con seguridad que se ocupó de la neumática, es decir, de la utilización del aire comprimido como elemento de trabajo, fue el griego *ktesibios*. Hace más de dos mil años, construyó una catapulta de aire comprimido. Uno de los primeros libros acerca del empleo del aire comprimido como energía procede del siglo I de nuestra era, y describe mecanismos accionados por medio de aire caliente.

De los antiguos griegos procede la expresión *pneuma* que designa la respiración, el viento y, en filosofía, también el alma.

Como derivación de la palabra *pneuma* se obtuvo, entre otras cosas el concepto neumático, que trata los movimientos y procesos del aire.

Aunque los rasgos básicos de la neumática se cuentan entre los más antiguos conocimientos de la humanidad, no fue sino hasta el siglo pasado cuando empezaron a investigarse sistemáticamente su comportamiento y sus reglas. Hasta (aproximadamente) el año de 1950 se puede hablar de una verdadera aplicación industrial de la neumática en los procesos de fabricación.

Es cierto que, con anterioridad ya existían algunas aplicaciones y ramos de explotación, como por ejemplo, en la minería, en la industria de la construcción y en los ferrocarriles (frenos de aire comprimido).

Aunque esta técnica fue rechazada en un inicio, debido en la mayoría de los casos a falta de conocimiento y de formación, fueron ampliándose los diversos sectores de aplicación.

En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido. Este es el motivo por el cual en los ramos industriales más variados se utilicen aparatos neumáticos.

2.2 Propiedades del aire comprimido

Causará asombro el hecho de que la neumática se haya podido expandir en tan corto tiempo y con tanta rapidez. Esto se debe, entre otras cosas, a que en la solución de algunos problemas de automatización no puede disponerse de otro medio que sea más simple y más económico.

2.2.1 Ventajas y desventajas

Ventajas

Las propiedades del aire comprimido que han contribuido a su popularidad son:

- | | |
|------------------------|--|
| Abundante | Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas. |
| Transporte | El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno. |
| Almacenable | No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos además, se puede transportar en recipientes. |
| Temperatura | El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura; garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas. |
| Antideflagrante | No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones antideflagrantes, que son caras. |

Limpio	El aire comprimido es limpio y en caso de faltas de estanqueidad en tuberías o elementos, no produce ningún ensuciamiento. Esto es muy importante, por ejemplo, en las industrias alimenticias, de la madera, textiles y del cuero.
Constitución de los elementos	La concepción de los elementos de trabajo es simple y por tanto, de precio económico.
Velocidad	Es un medio de trabajo muy rápido y, por eso, permite la obtener velocidades de trabajo muy elevadas.
Regulable	Las velocidades y las fuerzas son regulables de una manera continua, sin escalonamientos.
A prueba de sobrecargas	Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden utilizarse hasta su parada completa, sin riesgo alguno de sobrecargas.

Desventajas

Para delimitar el campo de utilización de la neumática es preciso conocer también las propiedades adversas.

Preparación	El aire comprimido debe ser preparado, antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad (el objeto de evitar un desgaste prematuro de los componentes).
--------------------	---

Compresible	Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos neumáticos velocidades uniformes y constantes.
Fuerza	El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente 7 bar, el límite, también en función de la carrera y velocidad, es de 20 a 30 kN.
Escape	El escape de aire produce ruido. No obstante, este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales insonorizantes.
Costos	El aire comprimido es una fuente de energía relativamente cara; este elevado costo se compensa en su mayor parte por los elementos de precio económico y el buen rendimiento.

El aire comprimido es una fuente cara de energía, pero, sin duda, ofrece indudables ventajas. La producción y acumulación del aire comprimido así como su distribución a las máquinas y dispositivos suponen gastos elevados. Pudiera pensarse que el uso de aparatos neumáticos está relacionado con costos especialmente elevados. Esto no es exacto, pues en el cálculo de la rentabilidad es necesario tener en cuenta, no sólo el costo de energía, sino también los costos que se producen en total. En un análisis detallado, resulta que el costo energético es despreciable junto a los salarios, costos de adquisición y costos de mantenimiento.

2.3 Fundamentos básicos

La superficie del globo terrestre está rodeada de una envoltura aérea. Esta es una mezcla indispensable para la vida y tiene la siguiente composición:

Nitrógeno aproximadamente 78% en volumen

Oxígeno aproximadamente 21% en volumen

Además contiene trazas de bióxido de carbono, argón, hidrógeno, neón, helio, criptón y xenón.

Para una mejor comprensión del comportamiento del aire se indican en primer lugar las magnitudes físicas y su correspondencia dentro del sistema de medidas. Con el fin de establecer aquí acciones inequívocas y claramente definidas, los científicos y técnicos de la mayoría de los países están en vísperas de acordar un sistema de medidas que sea válido para todos, denominado Sistema Internacional de medidas, o abreviado SI.

2.3.1 Unidades básicas

Tabla I. Unidades y símbolos

Magnitud	Abreviatura	Sistema Técnico	Sistema internacional
Longitud	L	Metro (m)	El metro (m)
Masa	M	$\frac{Kp \cdot S^2}{M}$	El kilogramo (kg)
Tiempo	T	segundo (s)	El segundo (s)
Temperatura	T	Grado centígrado (°C)	El kelvin (K)
Corriente	I	Amperio (A)	El amperio (A)
luminosidad	I		La candela (cd)
Volumen molecular	N		El mol (mol)

Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 8

2.3.2 Unidades derivadas

Tabla II. Unidades y símbolos derivados

Magnitud	Abreviatura	Sistema Técnico	Sistema Internacional
Fuerza	F	Kilogramo fuerza (kgf)	Sistema Internacional
Superficie	A	Metro cuadrado (m ²)	$1\text{N} = \frac{1\text{ kg}\cdot\text{m}}{\text{s}^2}$
Volumen	V	Metro cúbico (m ³)	Metro cúbico (m ³)
Caudal	Q	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Presión	P	Atmósfera (at) (kp/cm ²)	$1\text{ Pa} = \frac{1\text{ N}}{\text{m}^2}$ 1bar = 10 ⁵ Pa

Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 8

2.3.3 El aire es comprensible

La combinación entre los sistemas internacional y técnico de medidas está constituida por la

Ley de Newton $F = m \cdot a$, siendo a la
 aceleración de la gravedad $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

Para convertir las magnitudes antes indicadas de un sistema a otro rigen los siguientes valores de conversión.

Masa $1 \text{ kg} = \frac{1}{9.81} \frac{\text{kp} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}$

Fuerza $1 \text{ kp} = 9.81 \text{ N}$

Temperatura Diferencia de temperatura $1^\circ\text{C} = 1 \text{ K}$ (kelvin)
 Punto cero $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$ (kelvin)

Presión

Además de las unidades indicadas en la relación (atmósfera en el sistema técnico, así como bar y Pa en el sistema SI). se utilizan a menudo otras designaciones. Al objeto de completar la relación, también se citan a continuación:

1. Atmósfera, at
 (presión absoluta en el sistema técnico de medidas)
 1 at = 1 kp/cm² = 0.981 bar (98,1 kPa)
2. Pascal, Pa
 bar (presión absoluta en el sistema de unidades)
 1 Pa = $\frac{1 \text{ N}}{\text{m}^2} = 10^{-5} \text{ bar}$

 1 bar = $\frac{10^5 \text{ N}}{\text{m}^2} = 10^5 \text{ Pa} = 1.02 \text{ at}$
3. Atmósfera física, at
 (presión absoluta en el sistema físico de medidas)
 1 atm = 1.033 at \approx 1.013 bar (101.3 kPa)
4. milímetros de columna de agua, mm de col. de agua
 10,000 mm ca = 1 at = 0.981 bar (98.1 kPa)
5. milímetros de columna de mercurio, mmHg
 1 mmHg = 1 Torr
 1 at = 736 Torr, 100 kPa (1 bar) = 750 Torr

Como sobre la tierra todo está sometido a la presión atmosférica, no se nota ésta. Se toma la correspondiente presión atmosférica p_{amb} como presión de referencia y cualquier divergencia de esta se designa de sobrepresión p_e .

2.4 Producción del aire comprimido

2.4.1 Generadores

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

Los compresores móviles se utilizan en el ramo de la construcción o en máquinas que se desplazan frecuentemente.

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

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

2.4.2 Tipos de compresores

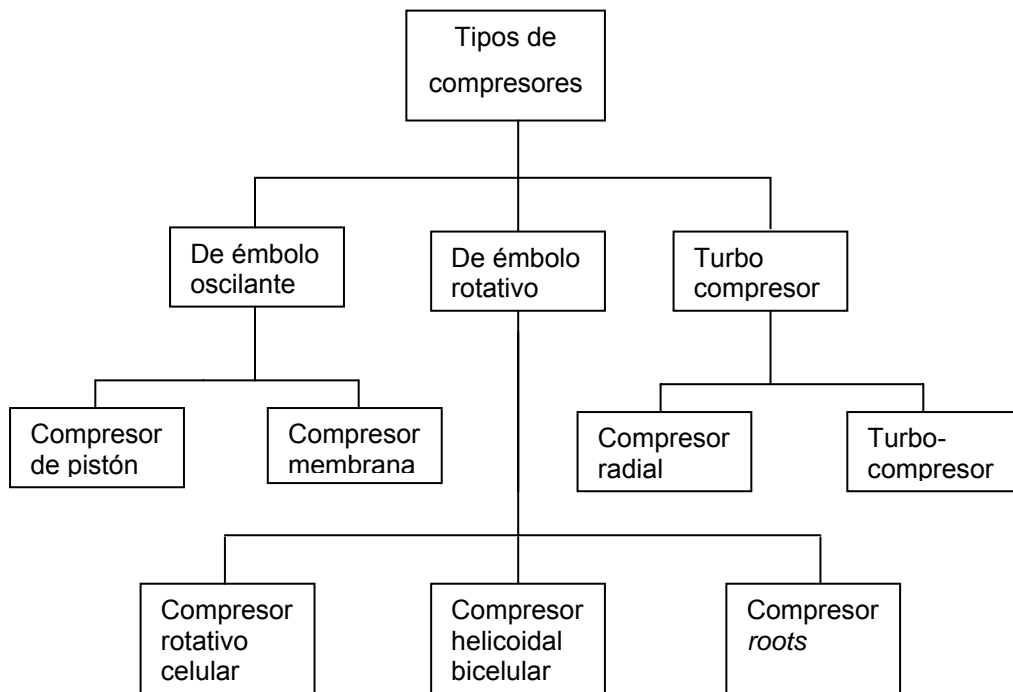
Según las exigencias referentes a la presión de trabajo y al caudal de suministro, se pueden emplear diversos tipos de construcción.

Se distinguen dos tipos básicos de compresores:

El primero trabaja según el principio de desplazamiento. La compresión se obtiene por la admisión del aire en un recinto hermético, donde se reduce luego el volumen. Se utiliza en el compresor de émbolo (oscilante o rotativo).

El otro trabaja según el principio de la dinámica de los fluidos. El aire es aspirado por un lado y comprimido como consecuencia de la aceleración de la masa (turbina).

Figura 1. Diagrama de los tipos de compresores



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 13

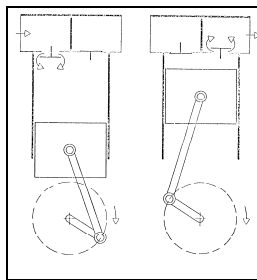
2.4.2.1 Compresor de émbolo

2.4.2.1.1 Compresor de émbolo oscilante

Este es el tipo de compresor más difundido actualmente.

Es apropiado para comprimir a baja, media y alta presión. Su campo de trabajo se extiende desde unos 14.5 psi (1 bar) a varios cientos de psi (bar).

Figura 2. Compresor de émbolo oscilante



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 14

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

Los compresores de émbolo oscilante pueden refrigerarse por aire o por agua, y según las prescripciones de trabajo las etapas que se precisan son:

hasta 58 psi (4 bar), 1 etapa

hasta 217 psi (15 bar), 2 etapas

más de 217 psi 3 etapas o más

No resulta siempre económico, pero también pueden utilizarse compresores

De 1 etapa, hasta 174 psi (12 bar)

de 2 etapas, hasta 435 psi (30 bar)

de 3 etapas, hasta 3190 psi (220 bar)

2.4.2.1.2 Compresor de membrana

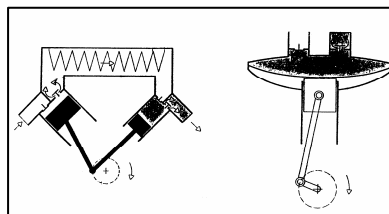
Este tipo forma parte del grupo de compresores de émbolo. Una membrana separa el émbolo de la cámara de trabajo; el aire no entra en contacto con las piezas móviles. Por tanto en todo caso el aire comprimido estará exento de aceite.

Estos compresores se emplean con preferencia en las industrias alimenticias, farmacéuticas y químicas.

2.4.2.2 Compresor de émbolo rotativo

Consiste en un émbolo que está animado de un movimiento rotatorio. El aire es comprimido por la continua reducción del volumen en un recinto hermético.

Figura 3. Compresores: con refrigeración intermedia y de membrana



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 15

2.4.2.2.1 Compresor rotativo multicelular

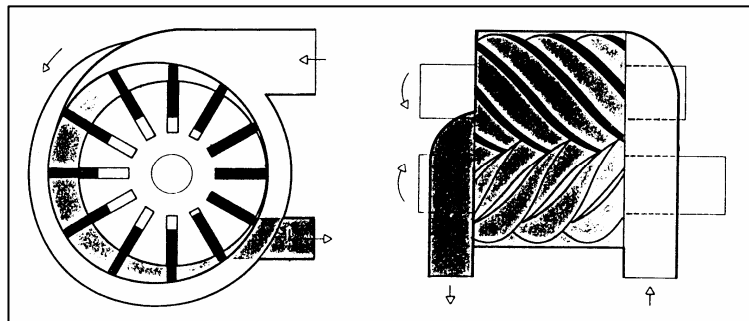
Un rotor excéntrico gira en el interior de un cárter cilíndrico provisto de ranuras de entrada y de salida. Las ventajas de este compresor residen en sus dimensiones reducidas, su funcionamiento silencioso y caudal prácticamente uniforme y sin sacudidas.

El rotor está provisto de un cierto número de aletas que se deslizan en el interior de las ranuras y forman las células con la pared del cárter. Cuando el rotor gira, las aletas son oprimidas por la fuerza centrífuga contra la pared del cárter, y debido a la excentricidad el volumen de las células varía constantemente.

2.4.2.2.2 Compresor de tornillo helicoidal

Dos tornillos helicoidales que engranan con sus perfiles cóncavo y convexo impulsan hacia el otro lado aire aspirado axialmente.

Figura 4. Compresor rotativo multicelular y compresor de tornillo helicoidal

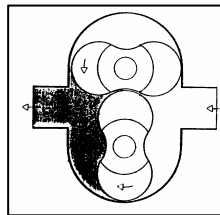


Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 15

2.4.2.2.3 Compresor *root*

En estos compresores, el aire es llevado de un lado a otro sin que el volumen sea modificado. En el lado de impulsión estanqueidad se asegura mediante los bordes de los émbolos rotativos.

Figura 5. Compresor *root*



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 16

2.4.2.3 Turbocompresores

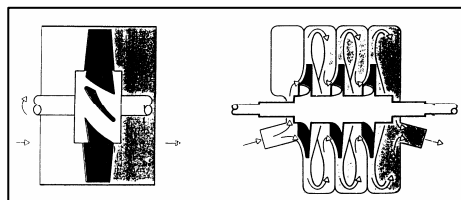
Trabajan según el principio de la dinámica de los fluidos y son muy apropiados para grandes caudales. Se fabrican de tipo axial y radial.

El aire se pone en circulación por medio de una o varias ruedas de turbina. Esta energía cinética se convierte en una energía elástica de compresión.

2.4.2.3.1 Turbocompresor axial

La rotación de los álabes acelera el aire en sentido axial de flujo.

Figura 6. Compresor axial y compresor radial



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 16

2.4.2.3.2 Turbocompresor radial

Aceleración progresiva de cámara a cámara en sentido radial hacia fuera; el aire en circulación regresa de nuevo al eje. Desde aquí se vuelve a acelerar hacia afuera.

2.4.3 Elección del compresor

2.4.3.1 Caudal

Por caudal se entiende la cantidad de aire que suministra el compresor. Existen dos conceptos

- El caudal teórico
- El caudal efectivo o real

En el compresor de émbolo oscilante, el caudal teórico es igual al producto de cilindrada * velocidad de rotación.

El caudal efectivo depende de la construcción del compresor y de la presión. En este caso, el rendimiento volumétrico es muy importante.

Es interesante conocer el caudal efectivo del compresor. Sólo éste acciona y regula los equipos neumáticos.

El caudal se expresa en m^3/min ó m^3/h .

No obstante, son numerosos los fabricantes que solamente indican el caudal teórico.

2.4.3.2 Presión

También se distinguen dos conceptos:

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

La presión de trabajo es la necesaria en el puesto de trabajo considerado. En la mayoría de los casos, es de 87 psi (6 bar).

Por eso, los datos de servicio de los elementos se refieren a esta presión.

Para garantizar un funcionamiento fiable y preciso es necesario que la presión tenga un valor constante. De ésta dependen:

- la velocidad
- las fuerzas
- el desarrollo secuencial de las fases de los elementos de trabajo

2.4.3.3 Accionamiento

Los compresores se accionan, según las exigencias, por medio de un motor eléctrico o de explosión interna. En la industria, en la mayoría de los casos los compresores se arrastran por medio de un motor eléctrico.

Si se trata de un compresor móvil, éste en la mayoría de los casos se acciona por medio de un motor de combustión (gasolina, diesel).

2.4.3.4 Regulación

El objeto de adaptar el caudal suministrado por el compresor al consumo que fluctúa, se debe proceder a ciertas regulaciones del compresor. Existen diferentes clases de regulaciones.

El caudal varía entre dos valores límites ajustados (presiones máxima y mínima).

<u>Regulación marcha en vacío</u>	<u>Regulación de carga parcial</u>	<u>Regulación por intermitencias</u>
a) Regulación por escape a la atmósfera	a) Regulación de velocidad de rotación	
b) Regulación por aislamiento de la aspiración		
c) Regulación por apertura de la aspiración		

Regulación de marcha en vacío:

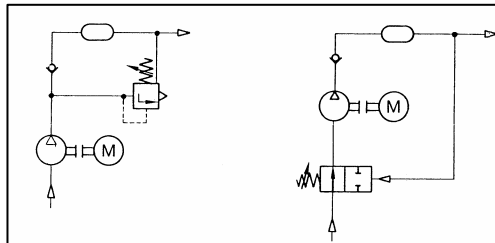
a) Regulación por escape a la atmósfera

En esta simple regulación se trabaja con una válvula reguladora de presión a la salida del compresor. Cuando en el depósito (red) se ha alcanzado la presión deseada, dicha válvula abre el paso y permite que el aire escape a la atmósfera. Una válvula antirretorno impide que el depósito se vacíe (sólo en instalaciones muy pequeñas).

b) Regulación por aislamiento de la aspiración

En este tipo de regulación se bloquea el lado de aspiración. La tubuladura de aspiración del compresor está cerrada. El compresor no puede aspirar y sigue funcionando en el margen de depresión. Esta regulación se utiliza principalmente en los compresores rotativos y también en los de émbolo oscilante.

Figura 7. Regulación: por escape a la atmósfera y por aislamiento

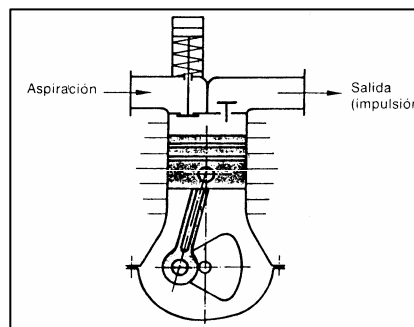


Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 20

c) Regulación por apertura de la aspiración

Se utiliza en compresores de émbolo de tamaño mayor. Por medio de una mordaza se mantiene abierta la válvula de aspiración y el aire circula sin que el compresor lo comprima. Esta regulación es muy sencilla.

Figura 8. Regulación por apertura de la aspiración



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 20

Regulación de carga parcial

a) Regulación de la velocidad de rotación

El regulador de velocidad del motor de combustión interna se ajusta en función de la presión de servicio deseada, por medio de un elemento de mando manual o automático.

Si el accionamiento es eléctrico, la velocidad de rotación puede regularse de forma progresiva empleando motores de polos conmutables. No obstante, este procedimiento no es muy utilizado.

b) Regulación del caudal aspirado

Se obtiene por simple estrangulación de la tubuladura de aspiración. El compresor puede ajustarse así a cargas parciales predeterminadas. Este sistema se presenta en compresores rotativos o en turbocompresores.

Regulación por intermitencias

Con este sistema, el compresor tiene dos estados de servicio (funciona a plena carga o está desconectado). El motor, de accionamiento del compresor se para al alcanzar la presión p_{\max} . Se conecta de nuevo y el compresor trabaja, al alcanzar el valor mínimo p_{\min} .

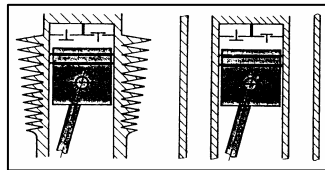
Los momentos de conexión y desconexión pueden ajustarse mediante un presóstato. Para mantener la frecuencia de conmutación dentro de los límites admisibles, es necesario prever un depósito de gran capacidad.

2.4.4 Refrigeración

Por efecto de la compresión del aire se desarrolla calor que debe evacuarse. De acuerdo con la cantidad de calor que se desarrolle, se adoptará la refrigeración más apropiada.

En compresores pequeños, las aletas de refrigeración se encargan de irradiar el calor. Los compresores mayores van dotados de un ventilador adicional que evacua el calor.

Figura 9. Refrigeración por circulación de agua: circuito cerrado y abierto



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 22

Cuando se trata de una estación de compresión de más de 30 kw de potencia, no basta la refrigeración por aire. Entonces los compresores van equipados de un sistema de refrigeración por circulación de agua en circuito cerrado o abierto. A menudo se temen los gastos de una instalación mayor con torre de refrigeración. No obstante, una buena refrigeración prolonga la duración del compresor y proporciona aire más frío y en mejores condiciones. En ciertas circunstancias, incluso permite ahorrar un enfriamiento posterior del aire u operar con menor potencia.

2.4.5 Lugar de emplazamiento

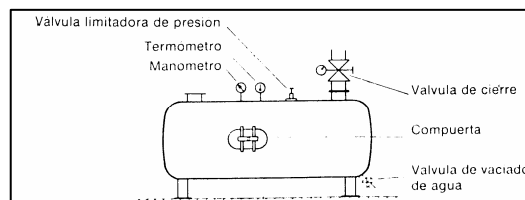
La estación de compresión debe situarse en un local cerrado e insonorizado. El recinto debe estar bien ventilado y el aire aspirado debe ser lo más fresco, limpio de polvo y seco posible.

2.4.6 Acumulador de aire comprimido

El acumulador o depósito sirve para estabilizar el suministro de aire comprimido. Compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medida que se consume aire comprimido.

Gracias a la gran superficie del acumulador el aire se refrigera adicionalmente. Por este motivo, en el acumulador se desprende directamente una parte de la humedad del aire en forma de agua.

Figura 10. Acumulador



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 22

El tamaño de un acumulador de aire comprimido depende:

- Del caudal de suministro del compresor
- Del consumo de aire
- De la red de tuberías (volumen suplementario)
- Del tipo de regulación
- De la diferencia de presión admisible en el interior de la red

3. DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Como resultado de la racionalización y automatización de los dispositivos de fabricación, las empresas precisan continuamente una mayor cantidad de aire. Cada máquina, herramienta y mecanismo necesita una determinada cantidad de aire, siendo abastecido por un compresor, a través de una red de tuberías.

El diámetro de las tuberías debe elegirse de manera que si el consumo aumenta la pérdida de presión entre el depósito y el consumidor no sobrepase 1.45 psi (0.1 bar). Si la caída de presión excede de este valor la rentabilidad del sistema estará amenazada y el rendimiento disminuirá considerablemente. En la planificación de instalaciones nuevas debe preverse una futura ampliación de la demanda de aire, cuyo motivo deberán dimensionarse generosamente las tuberías. El montaje posterior de una red más importante supone costos dignos de mención.

3.1 Dimensiones de las tuberías

El diámetro de las tuberías no debería elegirse conforme a otros tubos existentes ni de acuerdo con cualquier regla empírica, sino en conformidad con:

- el caudal
- la longitud de las tuberías
- la pérdida de presión (admisibles)
- la presión de servicio
- la cantidad de estrangulamientos en la red

3.1.1 Cálculo de una tubería

Una manera práctica de calcular el dimensionado de tubería para aire comprimido es utilizando la tabla III con datos de caudal total necesario según presiones. Los diámetros obtenidos con una caída de presión del 5% al 10% cada 100 pies de longitud de acuerdo con el diámetro seleccionado. Por ejemplo si se requiere un caudal de 50 cfm una presión de 100 psi, y una caída de presión del 10% por cada 100 pies de longitud de tubería se requerirá un diámetro de 1/2" con esta dimensión se garantiza un caudal y presión satisfactorios para que la herramienta o equipo neumático trabaje adecuadamente.

Tabla III. Manual de aire, según presiones y diámetros de tubería

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

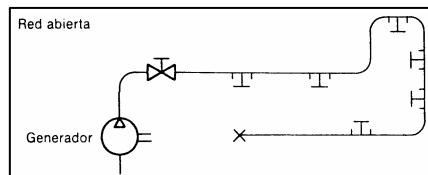
Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 31

3.2 Tendido de la red

No solamente importa el dimensionado correcto de las tuberías, sino también el tendido de las mismas.

Las tuberías requieren un mantenimiento y vigilancia regulares, por cuyo motivo no deben instalarse dentro de obras ni en emplazamientos demasiado estrechos. En estos casos, la detección de posibles fugas se hace difícil. Pequeños faltas de estanqueidad ocasionan considerables perdidas de presión.

Figura 11. Red abierta



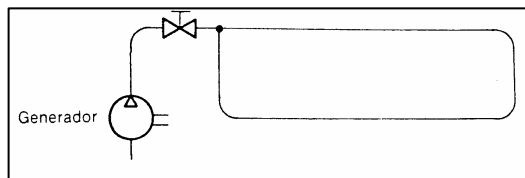
Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 32

En el tendido de las tuberías debe cuidarse, sobre todo, de que la tubería tenga un descenso, en el sentido de la corriente, del 1 al 2%.

En consideración a la presencia de condensado las derivaciones para las tomas de aire, en el caso de que las tuberías estén tendidas horizontalmente, se dispondrán siempre en la parte superior del tubo.

Así se evita que el agua condensada que posiblemente encuentre en la tubería principal llegue, a través de las tomas. Para recoger y vaciar el agua condensada se disponen tuberías especiales en la parte inferior de la principal.

Figura 12. Red cerrada

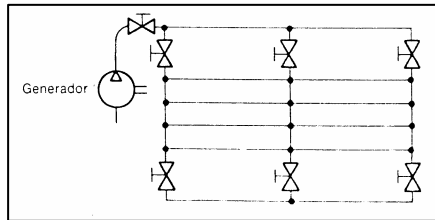


Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 32

En la mayoría de los casos, la red principal se monta en circuito cerrado. Desde la tubería principal se instalan las uniones de derivación.

Con este tipo de montaje de la red de aire comprimido se obtiene una alimentación uniforme cuando el consumo de aire es alto. El aire puede pasar en dos direcciones.

Figura 13. Red cerrada con interconexiones



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 32

En la red cerrada con interconexiones hay un circuito cerrado, que permite trabajar en cualquier sitio con aire, mediante las conexiones longitudinales y transversales de la tubería de aire comprimido.

Ciertas tuberías de aire comprimido pueden ser bloqueadas mediante válvulas de cierre si no se necesitan o si hay que separarlas para efectuar reparaciones y trabajos de mantenimiento. También existe la posibilidad de comprobar faltas de estanqueidad.

3.3 Material de tuberías

3.3.1 Tuberías principales

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

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

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

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

3.3.2 Derivaciones hacia los receptores

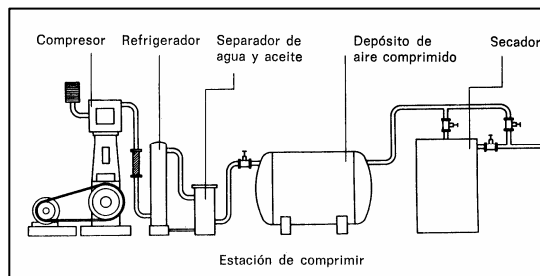
Los tubos flexibles de goma solamente han de emplearse en aquellos casos en que se exija una flexibilidad en la tubería y no sea posible instalar tuberías de plástico por los esfuerzos mecánicos existentes. Son más caros y no son tan manipulables como las tuberías de plástico.

Las tuberías de polietileno y poliamida se utilizan cada vez más en la actualidad para unir equipos de maquinaria. Con racores rápidos se pueden tender de forma rápida, sencilla y económica.

La instalación de aire comprimido Incluye:

- Filtro de entrada (al compresor y/o cuarto)
- Compresor (aislado de vibraciones)
- Pos-enfriador con drenaje condensado
- Taque de deposito
- Secador
- Distribuidor de la red de trabajo
- Drenaje automático
- Unidad de mantenimiento
- Elementos de trabajo

Figura 14. Instalación típica de aire comprimido



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 16

Tabla IV. Diámetro aproximado aconsejado para diferentes flujos

Caudal de aire (cfm)	DIAMETRO DE LA TUBERÍA (Pulg)
17.6	3/4
35.3	1
52.9	1 1/2
105.9	2
176.6	2 1/2
353.1	3 1/2
529.7	4 1/4
706.3	5
1059.4	6
1765.7	8

Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 36

3.3.3 Tubos de color en instalaciones neumáticas

Las normas internacionales para tubería rígida de aire

COLOR		SIGNIFICADO
- Base Azul	=	Aire
- Franja Amarilla	=	Aire ≤ 7 ATM, para servicios generales
- 2 x Franjas Amarillas	=	Aire ≤ 7 ATM, para instrumentación
- Franja Roja	=	Aire > 7 ATM y ≤ 10 ATM
- 2 x Franjas Rojas	=	Aire > 10 ATM
- Franja Marrón	=	Aire con aceite lubricante

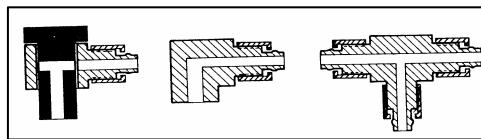
3.4 Racores para tubos flexibles

Figura 15. Boquilla con tuerca de racor y boquilla



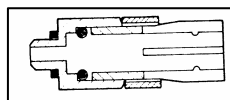
Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 34

Figura 16. Racores rápidos para tubos flexibles de plástico



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 34

Figura 17. Racor cs



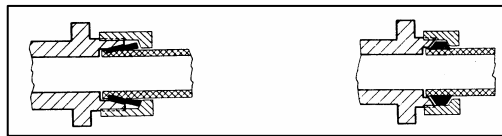
Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 34

3.4.1 Uniones y acoplamientos

3.4.1.1 Racores para tubos

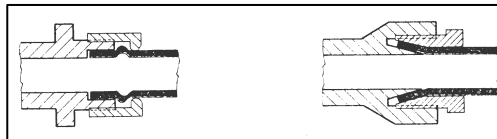
Aplicables sobre todo para tubos de acero y de cobre

Figura 18. Racores de anillo cortante y racor con anillo de sujeción



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 35

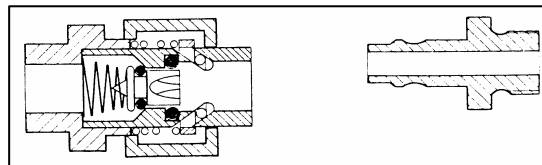
Figura 19. Racor con borde recalcado y racor especial con reborde



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 35

3.4.1.2 Acoplamientos

Figura 20. Base de enchufe rápido y racor de enchufe rápido



Fuente: Centro nacional colombo alemán, neumática básica, pag. 35

4. PREPARACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

4.1 Impurezas

En la práctica se presentan muy a menudo los casos en que la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial.

Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos.

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

Hay que dedicar especial atención a la humedad que contiene el aire comprimido.

El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire.

El grado de saturación es la cantidad de agua que un m³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La humedad es entonces del 100%, como máximo (temperatura del punto de rocío).

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{humedad absoluta}}{\text{grado de saturación}} * 100\%$$

El filtrado correcto del aire aspirado por el compresor. Utilización de compresores exentos de aceite. Si el aire comprimido contiene humedad, habrá de someterse a un secado.

4.2 Filtrado del aire comprimido

El aire comprimido contiene cuerpos extraños que pueden ocasionar alteraciones en los mandos neumáticos. Estos cuerpos extraños, gotas de agua, polvo, residuos de aceite, son separados en su mayor parte en las instalaciones secadoras. El resto de impurezas deben eliminarse con filtros para aire comprimido.

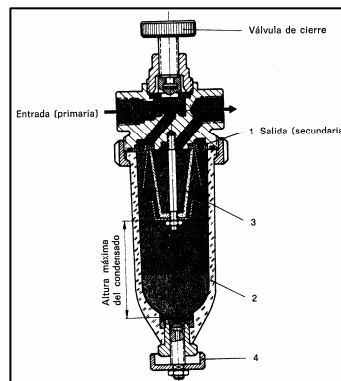
Bajo la condición de que en la producción de aire comprimido y en las instalaciones de acondicionamiento post-conectadas no surgen fallos, el filtro de aire comprimido puede suministrar aire comprimido bastante limpio y, ante todo, seco.

El filtro de aire comprimido puede incorporarse individualmente o formando una unidad completa junto con el lubricador y el regulador de presión.

4.2.1 Filtro de aire comprimido

Su efectividad depende de la construcción (recorrido del flujo) y del cartucho filtrante.

Figura 21. Filtro de aire comprimido



Fuente: Meixner/ Kobler, *Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática*, pag. 17

El aire comprimido, al entrar en el filtro fluye a través de una placa deflectora (1). Esto le provoca una rotación. Las partículas de agua y materia sólida son lanzadas a la pared interior del depósito (2) por el efecto centrífugo.

Estas impurezas caen a un depósito o colector. El aire comprimido fluye a través del cartucho filtrante (3) a la utilización. El tamaño de las partículas de suciedad, que no pueden ser eliminadas, depende del tamaño de los poros del cartucho filtrante. En caso de filtros normales se utilizan diámetros de poros de 30 hasta 70 μm . Filtros finos pueden tener poros de 3 μm .

Temporalmente deberá limpiarse el cartucho filtrante de las impurezas y las partículas de óxido que quedan retenidas en él, si no se realiza esta operación se va reduciendo el caudal de aire. No se pueden indicar unos plazos de limpieza, ya que depende del tipo y cantidad de impurezas que lleve en suspensión el aire, así como del caudal de aire que pasa por el filtro.

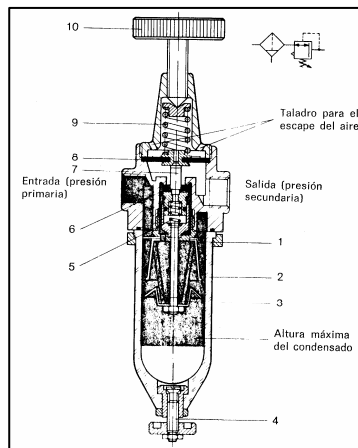
Se debe purgar el condensado cuando se ha alcanzado la marca del nivel máximo. Por medio del tornillo (4) se vacía el depósito colector del condensado.

4.2.2 Filtro con regulador de presión

En un mando neumático aparecen los elementos para el acondicionamiento de aire comprimido formando siempre unidades complejas.

En la figura verán una combinación entre el filtro de aire comprimido y el regulador de presión.

Figura 22. Filtro de aire comprimido con regulador de presión



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 18

El aire, al entrar en el filtro fluye a través de una placa deflectora (1). Esto le provoca una rotación. Las impurezas (gotas de agua, material sólido) son proyectadas contra la pared interior del depósito del filtro (2), desde donde caen a la zona de reposo. El aire circula a través del cartucho filtrante (3) al regulador de presión. La membrana es obligada por un lado por la presión secundaria y produce una fuerza que mantiene el equilibrio con la fuerza del muelle graduada por el volante (10).

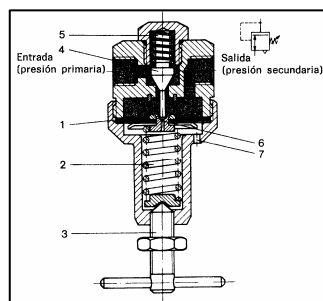
Si la presión primaria es más alta, ésta presiona la junta (6) al asiento de la válvula, evitando que el aire comprimido siga fluyendo al lado secundario. Si existe consumo de aire en el lado secundario, cede la fuerza que obliga a la membrana. El resorte (9) desplaza de esta forma la junta (6) del asiento de la válvula y el aire comprimido puede pasar libremente. A fin de evitar una vibración de la válvula hay un amortiguador (5) incorporado. Los dos taladros de escape de aire en el cuerpo del regulador no deben taparse.

4.3 Reguladores de presión

Todas las instalaciones neumáticas disponen de una presión de trabajo óptima. Esta presión de trabajo es distinta a la presión existente (más baja). Además, surgen oscilaciones de presión. Presiones demasiado altas producen grandes pérdidas de carga y un desgaste elevado. Tampoco la presión demasiado baja es económica, ya que en consecuencia tenemos rendimientos malos. Por este motivo es necesario siempre, realizar un control de la presión mediante el regulador de presión. Para regular el aire comprimido existen diferentes clases de aparatos que a continuación se describen.

4.3.1 Válvula reguladora con escape sin compensación del caudal

Figura 23. Válvula reguladora de presión, sin compensación del caudal



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 21

El aire comprimido entra en el regulador de presión y acciona a la membrana (1). En el otro lado de la membrana (1) tenemos la fuerza del muelle (2), que se puede tensar o aflojar mediante el tornillo regulador (3).

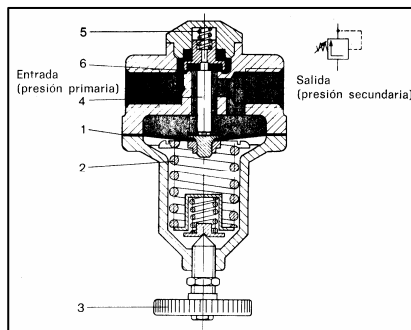
Si hay consumo de aire en la salida (presión secundaria) se reduce la fuerza sobre la membrana (1). El muelle de presión (2) puede, por ello, desplazar el cono de la válvula (4) hacia arriba. A través de la sección transversal abierta fluye el aire hacia la salida de la válvula reguladora.

Si la presión secundaria sobrepasase (lado de trabajo) el valor preestablecido, por ejemplo, por la influencia de fuerzas exteriores en los elementos, o por graduación baja del muelle (2), la membrana con una carga mayor presiona el muelle (2) hacia abajo. El aire puede escapar a través del taladro de escape (7). El aire seguirá escapándose hasta volver a recobrar la presión deseada. Los taladros de escape no deben cerrarse.

A fin de evitar vibraciones en la válvula hay incorporado un muelle de amortiguación (5).

4.3.2 Válvula reguladora sin escape con compensación del caudal

Figura 24. Válvula reguladora, sin compensación del caudal, sin escape



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 22

La función corresponde a la válvula del inciso 4.3.1

La desventaja de esta válvula reguladora de presión es que no tenemos escape de aire.

Si aumenta la presión en el secundario, el aire comprimido no puede escapar por falta del taladro de escape.

4.3.3 Válvula reguladora con compensación del caudal

La diferencia entre válvulas reguladoras sin o con compensación de caudal es:

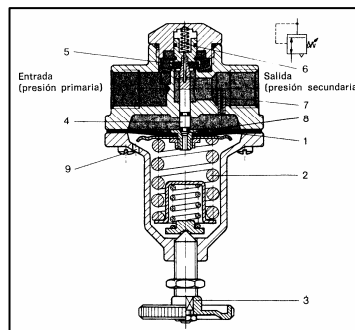
Sin compensación del caudal:

No hay separación entre la cámara de la membrana y el conducto de paso.

Compensación del caudal:

Esta ejecución tiene una separación entre ambas partes. Solamente existe una unión a través de una tobera con el secundario, por esto tenemos asegurada una reacción rápida del regulador de presión.

Figura 25. Válvula reguladora de presión con compensación del caudal



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 23

El aire comprimido entra en el regulador de presión y actúa sobre la membrana (1). En el otro lado de la membrana (1) tenemos el esfuerzo de un muelle (2) regulable mediante el tornillo (3). Si hay consumo de aire comprimido en el lado secundario, se reduce la fuerza sobre la membrana (1). El muelle (2) presiona el vástago (4) y desplaza a la junta (5) del asiento. El aire comprimido puede seguir hasta el estado de equilibrio.

Si la presión secundaria sobrepasa (lado de trabajo) el valor graduado, por ejemplo, por la influencia de las fuerzas exteriores en los elementos, o por graduación baja del muelle (2), la membrana (1) presiona al muelle (2) hacia abajo. El vástago de la válvula (4) es desplazado del asiento de la válvula (8), el aire del lado secundario puede escapar a través del taladro (9).

El aire seguirá escapándose hasta recobrar la presión pre-regulada. Los taladros de escape no deben cerrarse.

La tobera compensadora (7) montada en el secundario, reduce la presión que acciona sobre la membrana en caso de un caudal mayor y evitamos una caída grande en la presión secundaria en caso de grandes caudales. A fin de evitar una vibración de la válvula, se encuentra incorporado el muelle de amortiguación (6).

4.4 Lubricación de aire comprimido

Las piezas móviles necesitan lubricación. Los elementos neumáticos contienen piezas móviles. Para que estén suficiente y continuamente lubricadas, se añade al aire comprimido una cierta cantidad de aceite mediante un lubricador. El aire comprimido proporciona las partículas de aceite a los elementos.

Ventajas de la lubricación:

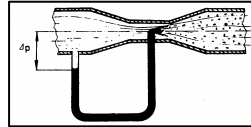
- Reducción del desgaste
- Disminución de las pérdidas por rozamiento
- Protección contra la corrosión

Las exigencias de un lubricador de aire comprimido son:

1. Fácil servicio y mantenimiento (control del nivel de aceite, relleno con aceite durante el funcionamiento).
2. Funcionamiento completamente automático del lubricador.
Con el comienzo y la terminación del trabajo debe empezar y terminar también la lubricación.
3. La cantidad de aceite para el mando neumático debe ser regulable según las necesidades.
4. Producción de una fina niebla de aceite después de la salida en el lubricador (cantidad de aceite).
5. El lubricador debe funcionar también en caso de necesitar el aire comprimido solamente en forma intermitente.

La mayoría de los lubricadores trabajan según el principio de Venturi. La diferencia de presión Δp (caída de presión) entre la presión delante de la tobera y la presión en el lugar más estrecho de la tobera se aprovecha para aspirar líquido (aceite) de un depósito y mezclarlo con el aire.

Figura 26. Principio de Venturi

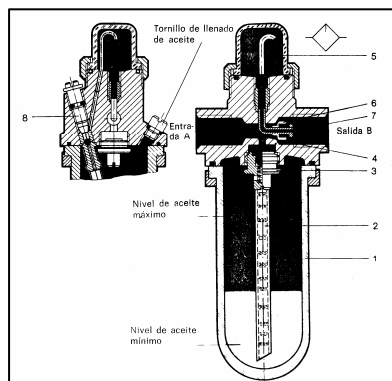


Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 25

El lubricador de aire comprimido empieza a trabajar solo cuando existe un flujo lo suficientemente grande. Con una toma de aire demasiado pequeña, la velocidad del flujo en la tobera ya no es suficiente para producir la depresión necesaria y así poder efectuar la aspiración del aceite del depósito.

4.4.1 Lubricador del aire comprimido

Figura 27. Lubricador del aire comprimido



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 26

El aire comprimido fluye a través del lubricador de A (entrada) hacia B (salida). El antirretorno (6) cierra el paso cuando no fluye aire comprimido

Si existe flujo de aire comprimido, el antirretorno (6) abre y el aire comprimido puede fluir libremente a la salida B.

En la estrangulación (4) del canal de paso se origina una caída de presión. En la cámara de goteo (5) se produce un efecto de aspiración; a través del tubo (2) se aspira aceite. Las gotas de aceite vuelven a entrar en la corriente de aire a través del conducto (7). Se nebulizan las gotas de aceite y llegan de esta manera a los diferentes elementos neumáticos.

El casquillo (3) con el antirretorno proporciona la posibilidad de relleno durante el funcionamiento del lubricador.

Mediante el tornillo de regulación (8) puede regularse el caudal de aceite por unidad de tiempo. El depósito de aceite (1) debe mantenerse limpio, para poder controlar el nivel de aceite en cada momento. El montaje del lubricador se ha de efectuar verticalmente según el sentido de circulación del aire. La dirección del flujo está señalada con una flecha.

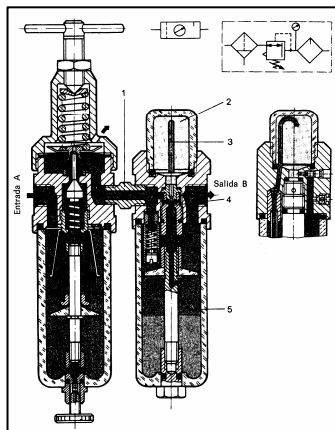
4.5 Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento es un montaje en bloque de los elementos tratados en los párrafos anteriores.

Se compone de filtro de aire comprimido, válvula reguladora de presión con manómetro y lubricador de aire comprimido. El aire comprimido fluye a través del filtro del aire comprimido, en el cual se purifica el aire, hacia la válvula reguladora de presión, que proporciona una presión constante, y penetra en el lubricador de aire comprimido. En la unidad de mantenimiento, el lubricador del aire comprimido es de una construcción distinta a la presentada en el apartado 4.4.1.

A través de la pieza entremedia (1) el aire comprimido entra en el lubricado, por la tobera (4) fluye el aire al depósito. Por medio de un estrechamiento en la tobera (4) se efectúa una caída de presión debido al aire comprimido que entra, lográndose una aspiración del aceite del depósito (5) a través del tubo de ascensión de aceite (3). (En la cámara de goteo (2) se logra un efecto de aspiración). Las gotas de aceite llegan a través del tubo de ascensión de aceite (3) al aire comprimido que las arrastra hasta llegar a la instalación neumática (cilindros, válvulas, etc.). Las gotas mayores caen de nuevo a la parte inferior del depósito.

Figura 28. Unidad de mantenimiento



Fuente: Meixner/ Kobler, *Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática*, pag. 27

El filtro del aire comprimido y el regulador de presión ya se describieron en el inciso 4.2.2 El montaje de la unidad de mantenimiento ha de efectuarse en posición vertical, atendiendo al sentido de circulación del aire.

4.5.1 Conservación de las unidades de mantenimiento

Si los diferentes elementos o la unidad de mantenimiento se encuentran montados, regulados y vigilados correctamente, es difícil que se produzcan anomalías en la instalación.

Síntomas de un mal acondicionamiento del aire comprimido:

- Rápido desgaste de piezas móviles en cilindros y válvulas.
- Formación de gotas de agua en las conducciones.
- En el lubricador se deposita agua.
- Velocidad lenta de los elementos de trabajo.
- Los silenciadores de las válvulas se ensucian.
- Velocidad lenta de los elementos de trabajo.

Medidas

Examinar los diferentes elementos de la unidad de mantenimiento.

- Condensación en el filtro del aire.
- Cartucho filtrante en el filtro del aire.
- Graduación del regulador de presión.
- Graduación del lubricador de aire comprimido.
- Utilización del aceite adecuado.
- Sentido de paso de la unidad de mantenimiento.

4.6 Secado del aire comprimido

El aire comprimido debe prepararse

Sobre todo debe prestarse mucha atención a la humedad que contiene el aire comprimido.

En la aspiración y compresión del aire atmosférico llega el agua, en forma de vapor, a la red de aire comprimido. La cantidad de agua se forma en función de la humedad relativa del aire, dependiendo ésta, de la temperatura del aire y de la presión.

En caso de que se sobrepasara la humedad relativa del aire, aparece el agua en forma de gotas.

Humedad absoluta, es la cantidad de agua que contiene un m³ de aire.

Humedad relativa, es la cantidad de agua que un m³ de aire puede admitir a una determinada presión y temperatura.

Si no se evacua el contenido, como se suele llamar, el agua existente en los conductos del aire comprimido, puede causar los siguientes daños:

Corrosión en:

- la red metálica
- los elementos de mando
- los elementos de trabajo
- las máquinas

En caso de que exista condensado entre los elementos, no se puede garantizar un funcionamiento impecable de los mismos.

Partículas externas sólidas, sales, polvo, óxido y cascarillas, pueden influir en el funcionamiento de los elementos de forma negativa.

Los restos del aceite de los compresores pueden producir junto con el aire comprimido una mezcla de aire y aceite (mezcla de gas), con el peligro de explosión, sobre todo cuando hay temperaturas elevadas (mas de 353° K).

Como precaución contra los daños que se producen en los elementos debido al aire comprimido sucio, y en perjuicio de los procesos de mando, se deben colocar los siguientes aparatos para limpiar el aire comprimido:

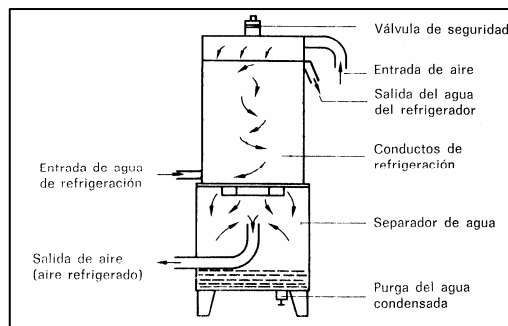
- Filtro de aspiración
- Refrigerador intermedio y final

Un filtro en la aspiración del compresor evita la entrada del polvo.

Los refrigeradores intermedios y al final del compresor sirven para separar el condensado.

El refrigerador final no sólo se ocupa de la limpieza en la red de conductos (separa partículas externas y agua), sino también evita accidentes en caso de explosión, que se pueden producir por la mezcla de aire y aceite. Con este aparato se extrae la mayor cantidad posible de aceite quemado.

Figura 29. Refrigerador



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 12

En caso de que los refrigeradores intermedios y final no sean suficientes para obtener aire comprimido completamente seco, se debe realizar un proceso de secado de aire.

En estos procesos de secado se puede reducir el contenido de agua hasta 0.001 g/m^3 , en casos especiales. Esta fuerte reducción sólo es necesaria en casos de aplicación muy especiales.

Proceso de secado:

- Secado por absorción
- Secado de adsorción
- Secado en frío

4.6.1 Secado por absorción

El principio de absorción se trata de un procedimiento puramente químico.

(Absorción: Admitir en una materia sólida o líquida, otra gaseosa o líquida).

Un filtro previo separa grandes cantidades de agua y de aceite del aire comprimido en rotación.

El recipiente de secado contiene la masa de secado, la cual extrae (absorción) del aire las gotas de agua existentes.

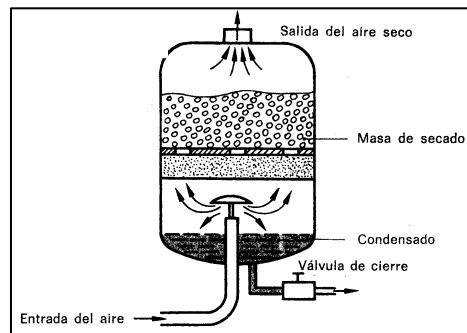
La masa de secado se mezcla con el agua y llega al depósito de recuperación Inferior. La masa de secado se consume con el tiempo, por este motivo se debe añadir regularmente.

Con una temperatura de entrada del aire de 293° K (20° C) se obtiene un consumo de masa de secado mínimo.

El procedimiento de absorción se caracteriza por:

- Simple montaje de la instalación.
- Reducido desgaste mecánico (no hay piezas móviles).
- No se necesita energía externa de aportación.

Figura 30. Secador por absorción



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 13

4.6.2 Secado por adsorción

La base del principio de adsorción es un procedimiento físico.

(Adsorber: En la superficie de cuerpos sólidos se almacenan materiales diversos).

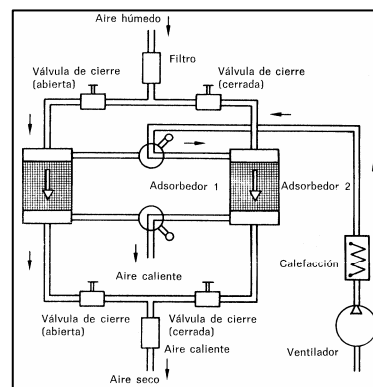
Este procedimiento se denomina también secado de regeneración.

El material de secado, es un material granuloso. La superficie porosa de los granos se llena de agua al pasar el aire comprimido.

El material de secado se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente el cual condensa la humedad. En la mayoría de los casos se montan en paralelo dos secadores, uno para el secado del aire y el otro para su regeneración.

La capacidad de almacenado del material de secado es limitada. Bajo las condiciones normales se debe cambiar el material de secado cada 2-3 años.

Figura 31. Secador por adsorción



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 14

4.6.3 Secado en frío

Si se enfría el aire comprimido a una temperatura más baja que el punto de rocío, aparece una condensación y se separa el agua.

El aire comprimido a secar, entra en el secador en frío. El aire pasa por el intercambiador de calor en la primera parte de la instalación. Allí se enfría el aire comprimido caliente que se debe secar. Debido a esto se separa parte del agua y aceite. La máquina de refrigeración sólo debe tener una carga de trabajo de aproximadamente 40 %.

El aire comprimido pre-enfriado entra solamente en la segunda parte del aparato en la refrigeración final. El aire comprimido se enfría a una temperatura de 274.7 K (1.7° C).

La refrigeración se realiza en el serpentín del aparato de refrigeración. A través de este serpentín circula un líquido de refrigeración. Nuevamente se separan el agua y las impurezas de aceite restantes.

El aire comprimido limpio y seco vuelve nuevamente a la primera parte del secador. El aire sale por el secundario y efectúa la pre-refrigeración del aire comprimido caliente que entra por el primario.

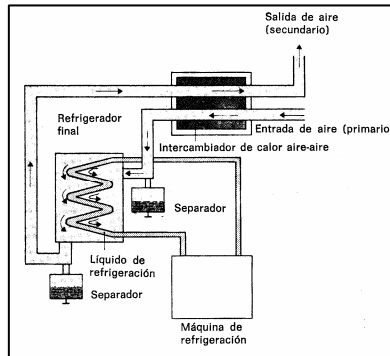
Las paredes interiores sucias pueden influir en el funcionamiento. Por este motivo se debe colocar un filtro previo para separar grandes gotas de aceite y partículas de suciedad.

También el depósito de aire comprimido conectado después del compresor y de las estaciones de preparación ayuda a preparar el aire comprimido.

El depósito de aire comprimido sirve para la estabilización de la alimentación del aire comprimido. Compensa las caídas de presión en la red durante el consumo de aire comprimido. Gracias a la gran superficie del depósito de aire comprimido, se enfría el aire adicionalmente. Con esto se separa directamente en el depósito de aire comprimido una parte de la humedad en forma de agua.

El compresor alimenta el depósito de aire comprimido. Tan pronto se llega a la presión ajustada, se desconecta automáticamente el compresor. Si la presión baja por el consumo de aire, se conecta el compresor de nuevo.

Figura 32. Secado en frío



Fuente: Meixner/ Kobler, *Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática*, pag. 15

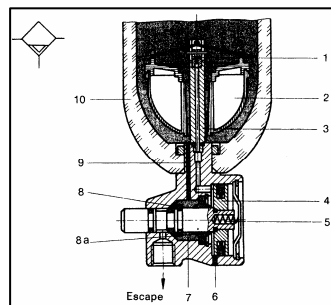
Desde el depósito de aire comprimido pasa el aire por una red de conductos a los diferentes puestos de consumo.

Ultima fase de preparación del aire comprimido antes de llevarlo a pie de máquina.

4.7 Purga automática del condensado

Si aún hubiera mayores cantidades de suciedad en el mando y no fuera posible un vaciado del condensado con regularidad pueden aplicarse purgas automáticas.

Figura 33. Purga automática



Fuente: Meixner/ Kobler, *Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática*, pag. 19

En condensado llega al depósito del filtro (10) y a través del taladro (9) al depósito de la purga comprendido entre las dos juntas (8) y (8a). Al aumentar el volumen de condensado sube el flotador (2). Alcanzando un determinado nivel del condensado, se levanta el asiento (1) y el aire comprimido fluye a través del taladro, la junta (8) es desplazada de su asiento y el condensado puede escapar libremente a la atmósfera.

A través del taladro (6) escapa poco a poco el aire comprimido que ha actuado sobre el émbolo. El flotador (2) baja con la disminución de condensado, el asiento (1) se cierra. El muelle de presión (5) vuelve al émbolo (4) a su posición inicial, la junta (8) cierra el del condensado.

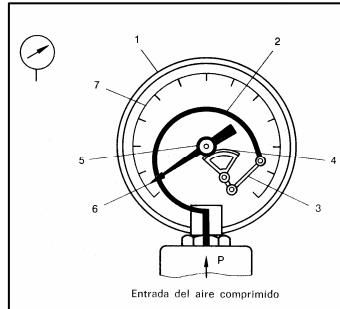
Exigencias para los filtros de aire comprimido

1. Depósito para el condensado.
2. Depósito transparente con grifo de purga.
3. Cartuchos filtrantes lavables e intercambiables.
4. Buen efecto de remolino o turbulencia (separación de partículas sólidas y líquidas del cartucho filtrante).
5. Posibilidad de montar purgas automáticas.
6. Posibilidad de limpieza sin desmontar el cartucho filtrante (sin herramientas).

4.8 Manómetro

Las válvulas reguladoras de presión disponen por regla general de una indicación (manómetro) para conocer el valor de la presión del aire comprimido que circula hacia el lado secundario.

Figura 34. Manómetro



Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 24

El aire comprimido entra en el manómetro por P. Debido a la presión se extiende el muelle tubular (2). A mayor presión, mayor radio de distensión. A través de la biela (3), sector dentado (4) y piñón (5), transmitimos este movimiento al indicador (6). En la escala (7) se puede leer la presión.

4.9 Cuadro de aceites

Tabla V. Aceites utilizados en los lubricadores del aire

Clases de aceites apropiados	Viscosidad a 20°C
ARAL OEL TU 500	23.6 c St
Avia Avilub RSL 3	34 c St
BP ENERGOL HLP 40	27 c St
ESSO SPINESSO 34	23 c St
Mobil Vac HLP 9	25.2 c St
Shell TELLUS OEL 15	22 c St
TEXACO Rando Oil AAA	25 c St
VALVOLINE Ritzol R-60	26 c St
Vedol Andarin 38	20.5 c St

Fuente: Meixner/ Kobler, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento, neumática, pag. 28

La relación por orden alfabético no significa ninguna valoración.

5. DISEÑO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS TALLERES DEL CENTRO DE FORMACIÓN INTECAP RETALHULEU

5.1 Situación actual de los talleres de INTECAP Retalhuleu

Los talleres del Instituto Técnico de Capacitación y Productividad de Retalhuleu cuentan con herramienta neumática, éstas no están con la disposición de una alimentación propia de aire comprimido, limitando su uso en forma continua. Por ejemplo, en las herramientas del taller de mecánica automotriz el uso del compresor en las condiciones actuales se limita a un solo usuario, provocando ineficiencia para la cual fue diseñado. La misma situación ocurre en el área de mecánica industrial y mecánica de banco. En el caso del taller de enderezado y pintura con la planificación de la futura instalación de la tubería de aire comprimido, estará siendo habilitado y cumplirá con los requerimientos para lograr eficientemente la función de enseñanza técnica profesional.

5.1.1 Necesidades de aire comprimido

En los talleres de capacitación se necesita cierto porcentaje de aire comprimido proporcional a la cantidad de herramienta y equipo neumático de cada taller, en particular los talleres que requieren este servicio son:

- Taller de mecánica industrial
- Taller de mecánica de banco
- Taller de mecánica automotriz
- Taller de enderezado y pintura

Como principio de diseño, se han dividido las necesidades de aire comprimido en dos partes, para así, emplear un compresor a cada flujo de aire, el flujo número 1 comprenderá lo que es el taller de mecánica industrial y el taller de mecánica de banco, donde se utilizan herramientas neumáticas tales como llaves, destornilladores y pistolas sopladoras.

El flujo número 2 cubrirá los talleres de mecánica automotriz y enderezado pintura, en el cual hay existencia de herramienta neumática como pistolas para pintar, llaves y destornilladores.

La disposición del aire, en esta forma, se debía que las necesidades y tiempos son compatibles con la eficiencia y uso conveniente para las diferentes aplicaciones en los talleres. Por ejemplo, en los talleres de mecánica industrial y mecánica de banco su uso en cuanto aire comprimido son similares en tiempo y aplicación. De la misma forma se podría decir de los talleres de pintura y mecánica automotriz, aunque en esta relación de aplicaciones existe mayor demanda de aire en el taller de pintura que en mecánica automotriz.

5.1.2 Capacidad del compresor

Los compresores utilizados en el centro de capacitación son del tipo compresor de émbolo oscilante o de pistón y cilindro, clasificado como compresor de dos etapas o sea dos pistones y dos cilindros. De la marca *CompAir Kellogg*, modelo 335 TV con una capacidad de 18 pies cúbicos por minuto (cfm), sumando un caudal total de 36 cfm con los dos compresores.

5.1.3 Capacidad del acumulador

La capacidad del acumulador según el manual de operación es 120 gal.

5.2 Cálculo de la red de distribución de aire comprimido

Para el cálculo de una instalación de tubería de aire comprimido, se debe conocer primordialmente la presión máxima y mínima con la cual trabaja adecuadamente las herramientas neumáticas, el caudal necesario para que cada equipo o herramienta neumática pueda trabajar y por ultimo la longitud necesaria para cubrir el tramo desde el generador o compresor hasta la ubicación del equipo o herramienta neumática. Con estos datos se podrá calcular el diámetro adecuado y efectivo para que toda la instalación trabaje sin exceso o insuficiencia tanto de caudal como presión de aire.

5.2.1 Presión de trabajo

Las herramientas neumáticas con que cuenta el centro trabajan con presiones:

Taller de mecánica industria y mecánico de banco

Tabla VI. Presiones de aire en las herramientas neumáticas

Herramienta o equipo neumático	Rango de presión de trabajo (psi)
Pistolas sopladoras de aire	50 - 70
Destornilladores	70 - 100
Llaves	50 - 70

Taller de mecánica automotriz y enderezado / pintura

Tabla VII. Presiones de aire en las herramientas neumáticas

Herramienta o equipo neumático	Rango de presión de trabajo (psi)
Pistolas para pintar	50 - 70
Destornilladores	70 - 100

5.2.2 Caudal necesario

El caudal necesario en la instalación de aire comprimido se obtiene con la suma de los caudales que consume cada herramienta neumática y para las dos partes en que hemos dividido la instalación tenemos:

Taller de mecánica industrial y mecánica de banco

Tabla VIII. Caudales de aire en las herramientas neumáticas

cantidad	Herramienta o equipo neumático	Pie³/min (cfm)	Suma cfm
4	Pistolas sopladoras de aire	1.8	7.2
3	Destornilladores	1.6	4.8
1	Llaves	2.6	2.6
Caudal total necesario			14.6

Taller de mecánica automotriz y enderezado / pintura

Tabla IX. Caudales de aire en las herramientas neumáticas

cantidad	Herramienta o equipo neumático	Pie³/min (cfm)	Suma cfm
2	Pistolas para pintar	5	10
3	Destornilladores	1.6	4.8
Caudal total necesario			14.8

5.2.3 Longitud equivalente de los accesorios






En las instalaciones de transporte de fluidos en tuberías en su mayor parte están constituidas por válvulas y accesorios que cambian la forma de la tubería de flujo dependiendo de las condiciones del edificio, es necesario un conocimiento de su resistencia al paso de fluidos para determinar las características de flujo en un sistema de tuberías completo.

Las válvulas y accesorios en una línea de tubería de aire comprimido alteran la configuración de flujo, producen una pérdida de presión. Dentro de la variedad en diseños de válvulas se pueden mencionar: la válvula de compuerta, de asiento, diafragma, globo y bola.

Los accesorios o acoplamientos para conexión más utilizados tenemos: tes, cruces, codos y reductores de diámetro al igual que las válvulas producen caída de presión en una instalación de aire comprimido.

A continuación se presenta la tabla X de valores de longitud equivalente de tubería recta para válvulas y accesorios

Tabla X. Longitud equivalente de tubería recta para válvulas y accesorios

Válvulas, etc.		Longitud de la tubería equivalente en m							
		Diámetro interior de la tubería							
		3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"	5"	6"
Válvula de diafragma		1.0	1.2	2.0	3.0	4.5	6	8	10
Válvula de compuerta		0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	2.5
Codo		1.2	1.5	2.5	3.5	5	7	10	15
Reducción		0.4	0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.5	4.0
Pieza en T		1.2	2	3	4	7	10	15	20

Fuente: Manual de fundamentos de aire comprimido, Atlas Copco, **pag. 40**

La forma de utilizar la tabla X se ejemplifica con los siguientes datos; si tenemos una tubería de 2" de diámetro y se necesita encontrar la longitud equivalente de una válvula de diafragma, tenemos que los 3 metros que indican la tabla es lo que representa una válvula de diafragma de 2" de tubería recta.

5.2.4 Diámetro de la tubería

En una instalación de tubería de aire comprimido nueva o que se piensa modificar, el cálculo del diámetro más conveniente para el sistema es una parte medular de todo el proyecto. Por lo tanto, los datos necesarios para hacer el cálculo del diámetro de tubería son:

- El consumo total (caudal) de todas las herramientas neumáticas
- La longitud de tubería recta hasta el punto más lejano
- El rango de presión de las herramientas neumáticas
- La longitud equivalente de los accesorios y válvulas en el circuito

El método para el cálculo del diámetro que utilizaremos se describe a continuación:

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor} * \text{longitud}}{R * 1000}$$

Donde:

Pérdida de presión	=	psi
Longitud	=	pies
Presión	=	psi
Relación de compresión	= R =	$\frac{P+14.7}{14.7}$

El diseño esta dividido en dos partes, es decir, en dos circuitos como ya se ha mencionado anteriormente.

para encontrar el factor F con el caudal y el diámetro en la tabla XI.

Tabla XI. Factores de pérdidas de presión debido a la fricción en tuberías

Caudal (cfm)	Factores debido a la fricción de tuberías								
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
5	12.7	1.2	0.5						
10	50.7	7.8	2.2	0.5					
15	114	17.6	4.9	1.1					
20	202	30.4	8.7	2	0.9				
30	456	70.4	19.6	4.5	2				
40	811	125.3	34.8	8.1	3.6				
50		196	54.4	12.6	5.6	1.5			
60		282	78.3	18.2	8	2.2			
70		385	106.6	24.7	10.9	2.9	1.1		
80		503	139.2	32.3	14.3	3.8	1.5		
90		646	176.2	40.9	18.1	4.8	1.9		
100		785	217.4	50.5	22.3	6	2.3		
200			870	202	89.4	23.9	9.3	2.9	
400						94.7	37.1	11.7	2.7

Fuente: Juárez Pizza. Diseño, montaje y mantenimiento de sistemas de aire comprimido, pag 52

Cálculo para los talleres de mecánica industrial y mecánica de banco

Para esta área se necesita según la tabla VIII un flujo de:

$$14.6 \text{ cfm} + 20\% \text{ futuras ampliaciones}$$

$$14.6 \text{ cfm} + 2.92 \text{ cfm} = 17.52 \text{ cfm}$$

Para obtener el diámetro de tubería se obtiene por tanteo para una pérdida de presión del 5%

Para un diámetro de tubería de 3/4"

Longitud equivalente de válvulas y accesorios tabla X

Accesorios	Le	cantidad		
Válvula de compuerta	0.2	2	=	0.4
Tee	1.2	6	=	7.2
Codo 90°	1.2	8	=	<u>9.6</u>
				17.2 mts = 56.4 pies

La longitud de tubería para este sector es de $L = 233.4$ pies desde el generador hasta el punto más largo de tubería.

La longitud total de tubería recta es $= 233.4 \text{ pies} + 56.4 \text{ pies} = 289.8 \text{ pies}$

La presión permisible máximo y mínimo tabla VI es: 70 - 100 psi

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor} * \text{longitud}}{R * 1000}$$

La relación de compresión, se toma la menor relación

$$R = \frac{100 + 14.7}{14.7} = 7.8 \qquad R = \frac{70 + 14.7}{14.7} = 5.8$$

Para encontrar el factor para la pérdida de presión por fricción de tubería, por interpolación en la tabla XI, con un diámetro de 3/4" y un caudal de 17.52 cfm resulta un factor de $F = 24.1$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{24.1 * 289.8}{5.8 * 1000} = 1.2 \text{ psi}$$

Lo que equivale a una pérdida de $1.72\% < 5\%$ que es la pérdida aceptable. Se ensayo con diámetros de 1/2" y 1" resultando los porcentajes de pérdida de presión de 11.33% y 0.52% los cuales son valores muy lejanos al 5% por esta motivo el diámetro de 3/4" cumple satisfactoriamente las condiciones necesitadas para trabajar eficientemente las herramientas neumáticas de los talleres de mecánica industrial y mecánica de banco.

Cálculo para los talleres de mecánica automotriz y enderezado / pintura

Para esta área se necesita según la tabla IX un flujo de:

$$14.8 \text{ cfm} + 20\% \text{ futuras ampliaciones}$$

$$14.8 \text{ cfm} + 2.96 \text{ cfm} = 17.76 \text{ cfm}$$

Para obtener el diámetro de tubería se obtiene por tanteo para una pérdida de presión del 5%

Para un diámetro de tubería de 3/4"

Longitud equivalente de válvulas y accesorios tabla X

Accesorios	Le	cantidad	
Válvula de compuerta	0.2	2	= 0.4
Tee	1.2	6	= 7.2
Codo 90°	1.2	6	= <u>7.2</u>
			14.8 mts = 48.5 pies

La longitud de tubería para este sector es de $L = 285.3$ pies desde el generador hasta el punto más largo de tubería.

La longitud total de tubería recta es $= 285.3 \text{ pies} + 48.5 \text{ pies} = 333.8 \text{ pies}$

La presión permisible máximo y mínimo tabla VI es: 70 - 100 psi

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{\text{Factor} \cdot \text{longitud}}{R \cdot 1000}$$

La relación de compresión, se toma la menor relación

$$R = \frac{100 + 14.7}{14.7} = 7.8$$

$$R = \frac{70 + 14.7}{14.7} = 5.8$$

Para encontrar el factor para la pérdida de presión por fricción de tubería, por interpolación en la tabla XI, con un diámetro de 3/4" y un caudal de 17.76 cfm resulta un factor de $F = 24.7$

$$\text{Pérdida de presión} = \frac{24.7 * 333.8}{5.8 * 1000} = 1.42 \text{ psi}$$

Lo que equivale a una pérdida de $1.42\% < 5\%$ que es la pérdida aceptable. Se ensayo con diámetros de 1/2" y 1" resultando los porcentajes de pérdida de presión de 12.7% y 0.61% los cuales son valores muy lejanos al 5% por esta motivo el diámetro de 3/4" cumple satisfactoriamente las condiciones necesitadas para trabajar eficientemente las herramientas neumáticas de los talleres de mecánica automotriz y enderezado / pintura.

5.3 Programa de mantenimiento propuesto

El objetivo que persigue el mantenimiento de la maquinaria y equipos es reducir al mínimo los paros de trabajo y baja calidad que se traducen en pérdidas de tiempo, dinero y sobre todo de eficiencia en los puestos de trabajo. Las fallas y averías que producen estos inconvenientes se combaten eficientemente con el seguimiento por medio de hojas de fallas, encontrando las fallas más recurrentes y entrar en acción con un plan de vigilancia continua de visita, inspección, limpieza, lubricación y ajustes.

5.3.1 Compresor

Como primera medida de prevención y mantenimiento la localización del compresor debe tener las condiciones de ambiente seco, limpio, ventilado, protección de la interperie con estas medidas iniciales se brinda una adecuada atmósfera para que el compresor obtenga su potencial máximo trabajo.

5.3.1.1 Detección de fallas en el compresor

Tabla XII. Síntomas y causas probables de fallas en el compresor

Síntoma	Causas probables del problema											
Presión muy baja	1	2	3	4								
El compresor sobrecarga el motor	3	5	6	7	8	9	10	12	13			
Capacidad insuficiente	1	2	3	4	14	15	16	17	18	19	22	
Sobrecalentamiento del compresor	3	6	7	14	17	19	21	33				
Golpeteo del compresor	6	17	19	20	21	23	24	25	28	31		
Vibración del compresor	24	26	27	29	30							
Válvula del interenfriador se abre	33	34	35									
Se abre la válvula de Seguridad	7	35	37									
Se funden los fusibles	6	10	11	14	36	37	39	40				
Consumo excesivo de aceite	2	14	32	38	41							

Causas probables del problema

1. Fugas en tubería y accesorios	2. Pistón y anillos gastados	3. Velocidad incorrecta
4. Capacidad baja del compresor	5. Tubo de entrega restringido	6. Aceite insuficiente
7. Fuga por tubos de control	8. Válvula de seguridad mal graduada	9. Banda muy tensionada
10. Compresor o motor trabado	11. Características eléctricas incorrectas	12. Voltaje muy bajo
13. Presión de entrega muy alta	14. Tubo de succión obstruido, filtro sucio	15. Falla en el ventilador
16. Válvula de succión, pegado	17. Válvula mal instalada	
18. Banda deslizada	19. Tiras faltantes o rotas en las válvulas	20. Válvula floja
21. Sentido incorrecto de rotación	22. Juntas de cabeza de cilindro, reventada	23. Volante o polea floja
24. Rotor desplazado	25. Holgura entre pasador de pistón y buje	26. Mala cimentación
27. Tubos mal soportados	28. Cojinetes principales necesitan ajuste	29. Rotor desbalanceado
30. Falla en anclajes	31. Holgura excesiva de cojinetes de biela	32. Aceite poco viscoso
33. Válvula de succión de AP rota	34. Junta de válvulas de AP reventadas	
35. Válvula de seguridad falla	36. Motor defectuoso	
37. Calibrar interruptor de presión	38. Presión de aceite alta	
	39. Fusibles de capacidad limitada	
	40. La unidad arranca contra plena carga	
	41. Nivel alto de aceite	

El funcionamiento seguro del compresor exige vigilancia y mantenimiento cuidadoso. Es indispensable un registro diario del funcionamiento, para un mantenimiento eficiente. Se deben registrar cuando menos, lo siguiente:

- Temperaturas y presiones de succión, descarga entre etapas
- Las condiciones del mecanismo de enfriamiento (ventilador, faja, etc.)
- Temperatura y presión del aceite para lubricar los cojinetes
- Carga, amperaje y voltaje del motor
- Hora y fecha

5.3.1.2 Mantenimiento para el compresor

Tabla XIII. Mantenimiento para los compresores reciprocantes

Limpiar (L) Revisar (R) Cambiar (C), si es necesario	Diario			Semanal			Mensual			Semestral			Anual			5 años		
	L	R	C	L	R	C	L	R	C	L	R	C	L	R	C	L	R	C
Componente																		
Nivel de aceite		x								x	x	x						
Purga del condensado	x	x	x															
Unidad de mantenimiento				x	x								x	x	x			
Temperatura de descarga del aire		x																
Ventilador de enfriamiento de aire								x		x	x	x						
Manómetro		x											x	x	x			
Válvula de seguridad								x								x	x	x
Válvula de condensado				x	x											x	x	x
Filtro de aire										x	x	x						
Filtro de aceite										x	x	x						
Bandas y poleas								x					x	x	x			
Lubricación de Cojinetes											x	x						
Lubricación de mecanismos											x	x						
Acumulador										x	x							
Motor eléctrico										x	x							
Anillos de pistones de 1ª y 2ª etapa																x	x	x
Válvulas de admisión y escape																x	x	x
Pistones de 1ª y 2ª etapa																x	x	x
Cilindros de 1ª y 2ª etapa																x	x	x

Con ese registro, el supervisor con todo el personal de mantenimiento puede observar cambios en la presión o temperatura que indican un mal funcionamiento del sistema. La corrección rápida evitará problemas serios más tarde.

5.3.2 Mantenimiento a la red de distribución

Para el buen funcionamiento de todo el sistema de aire comprimido se debe atender con igual importancia tanto la unidad generadora como la distribución, hasta el punto donde es requerido. El cuidado de la tubería de distribución es determinante para completar de una forma conveniente el buen funcionamiento y rendimiento de los equipos neumáticos.

Los problemas principales del sistema de tubería se relacionan en su mayor parte con fugas del aire comprimido. Las fugas a través de las válvulas, accesorios y cualesquiera otras conexiones de los componentes constituyen un problema regular y de rutina. El problema asociado con las fugas es la caída resultante de la presión, lo que conduce a funcionamiento erróneo y defectuoso de las herramientas neumáticas. Si se producen fugas indeseables, el sistema en conjunto puede encarar los siguientes problemas:

- Mayor carga para el compresor del aire
- Desperdicio del costoso aire comprimido, sin que se esté realizando algún trabajo con un fin determinado
- Un costo más elevado de operación y de mantenimiento de la planta con instalación neumática.
- Riesgo de rechazo o desperfectos de los trabajos realizados

Las fugas se pueden detener al tomar las medidas siguientes:

- Apretar las conexiones y accesorios flojos
- Reemplazar los accesorios defectuosos y dañados o los tubos y mangueras

La unidad de filtro de aire, regulador de presión y lubricador, llamada unidad de mantenimiento en las líneas de aire, se usa para proteger el sistema contra partículas extrañas indeseables, para mantener una presión estable de la alimentación de aire comprimido y para garantizar una neblina de aceite lubricante en éste aire y con el fin de proteger el sistema contra fallas debidas a la fricción. Si las condiciones de uso y cuidado no son apropiadas de la unidad de mantenimiento, pueden surgir los siguientes problemas:

- Corrosión de los tubos y válvulas debido a la presencia de agua
- Desgaste indeseable de los elementos debido a partículas abrasivas
- Bloqueo de válvulas y otros pasos
- Formación de ácidos o electrólitos débiles que causan corrosión galvánica debida a vapores y al mezclado con el agua
- Formación de una sustancia semejante a la goma debido a la degradación del aceite

5.3.2.1 Líneas principales de aire, líneas en general, y accesorios

Tabla XIV. Mantenimiento para líneas de aire

Actividad	Periodicidad
Detección y supresión de fugas	Mensual
Inspección completa de todo el sistema de líneas	Anual
Inspección de uniones, curvas, tes, codos, acoplamientos, etc.	Trimestral
Determinación de la presión en puntos estratégicos	Trimestral
Trampas de condensado	Diariamente
Drenaje automático del condensado	Trimestral
Líneas de aire, choques, cortes en las líneas y agujeros	Semanal

5.3.2.2 Unidad de mantenimiento

Tabla XV. Mantenimiento para unidad de mantenimiento

Actividad	Periodicidad
Detección y supresión de las fugas de aire	Diariamente
Drenar el condensado del filtro	Trimestral
Limpieza del cartucho filtrante	Semestral
Determinación de la presión del regulador de presión	Mensual
Calibrar el manómetro	Semestral
Limpieza del tazón del filtro y del tazón de la aceitera	Anual
Recuperar el nivel del aceite	Semanal
Limpiar el paso del chorro de aceite	Semestral
Detección de las fugas de aceite	Trimestral
Ajustar el chorro de aceite	Según se necesite
Cambiar el aceite después de una limpieza completa del tazón	Semestral o anual

5.3.2.3 Válvula de conexión y desconexión de línea

Tabla XVI. Mantenimiento para válvulas

Actividad	Periodicidad
Fugas de aire a través de la válvula y accesorio de manguera	Mensual
Accionamiento de la manija de la válvula	Semanal
Reemplazo o restauración si es posible	Anual

La experiencia industrial hace ver que incluso el mejor de los sistemas falla y, por consiguiente, para tener el cuidado necesario contra todas esas fallas, en especial las no pronosticadas y no programadas, es muy importante que se sujete el sistema de aire comprimido a verificaciones de mantenimiento preventivo, regular y adecuadas, y debe llevarse a cabo una inspección rutinaria, como las sugeridas anteriormente, para mantener el sistema funcionando con su eficiencia óptima.

5.4 Presupuesto del proyecto

5.4.1 Tiempo aproximado de instalación

El tiempo aproximado o estimado para la realización del proyecto de la instalación de aire comprimido lo calculamos en base a la siguiente programación.

Tabla XVII. Programación de tiempo y actividades estimada del proyecto

Tiempo	Actividad
Semana 1	Autorización, orden de trabajo, contratación del personal, compra y recepción de materiales, ubicación de compresores en su nuevo lugar
Semana 2	Iniciar con el armado de tuberías por los tramos más largos, medir los tramos a partir de los compresores, realización de cortes y roscado de tuberías.
Semana 3	Colocación de los soportes, instalación de la tubería área, codos, tes y cualquier otro accesorio necesario
Semana 4	Colocación de las válvulas de compuerta, los manómetros y las unidades de mantenimiento en la entrada de cada taller
Semana 5	Revisión minuciosa de cada parte de la instalación y puesta a prueba con todas las llaves de interrupción cerradas para la revisión de posibles fugas. corrección de cualquier anomalía en el sistema
Semana 6	Puesta a prueba y revisión de presiones de trabajos de las herramientas neumáticas, identificación por colores de la tubería y entrega del proyecto a las autoridades de INTECAP.

5.4.2 Costo de materiales

Los precios cotizados para este proyecto fueron proporcionados por la administración del instituto, incluyen los recargos de transporte hasta el centro de capacitación de Retalhuleu y un porcentaje por fluctuación de precios en el mercado de nacional.

Tabla XVIII. Cotización de materiales

Materiales	Diámetro	Precio	Cantidad	Total
Tubo galvanizado	3/4"	Q 193.20	24	Q 4,636.80
Tubo galvanizado	1/2"	Q 157.20	2	Q 314.40
Codo de 90°	3/4"	Q 10.20	14	Q 142.80
Tee	3/4"	Q 13.80	12	Q 165.60
Uniones universales	3/4"	Q 20.76	30	Q 622.80
Válvula de compuerta	3/4"	Q 50.40	4	Q 201.60
Reducidor	3/4" a 1/2"	Q 11.65	5	Q 58.25
Soportes de tubería	3/4"	Q 7.20	80	Q 576.00
Manómetro con glicerina	1/2"	Q 200.00	5	Q 1,000.00
Unidad de mantenimiento	1/2"	Q900.20	4	Q 3,600.00
Costo total de materiales				Q 11,319.05

5.4.3 Costo de mano de obra

De acuerdo con el tiempo estimado de instalación podemos calcular la mano de obra, para logra ese tiempo de ejecución del proyecto necesitamos por lo menos el siguiente personal que trabaje por lo menos ocho horas diarias.

1 Ing. mecánico	Q 6,500.00
1 Mecánico industrial	Q 3,000.00
1 Soldador	Q 2,500.00
1 Ayudante	Q 1,500.00
	<hr/>
	Q 13,500.00

Sumando el costo de los materiales y la mano de obra nos da un valor de **Q 24,819.05** que es el costo total del proyecto.

CONCLUSIONES

1. En los talleres del INTECAP, no se cuenta con una distribución de aire comprimido, condición que limita la utilización de los compresores y perjudica la formación técnico profesional de sus estudiantes.
2. Con el diseño y cálculo de la red de aire comprimido establecida, se logra cubrir adecuadamente las demandas exigidas de cada taller. Proporcionando una cantidad correcta a la presión y calidad adecuada, generando trabajos de alto rendimiento.
3. La producción de aire comprimido es relativamente cara, por lo tanto, debe procurarse que el desperdicio de la misma sea lo mínimo posible. Por ello, es importante conocer las características y propiedades de este fluido para tener presente el uso y cuidado.
4. El mantenimiento para los compresores y la red de distribución de aire comprimido, se le debe dar un seguimiento periódico. Con esto, se garantiza una larga vida a la red y al compresor con un rendimiento similar al dado por el fabricante y, por lo tanto, la economía derivada de los mantenimientos preventivos.
5. La instalación de líneas de aire comprimido trae ventajas tales como; distribución homogénea, mejores acabados en los trabajos, larga duración a la herramienta neumática, menor cantidad de paros y arranques que disminuyen los picos de corriente y voltajes de arranque, que son los valores que incrementan súbitamente el costo de la energía eléctrica.

RECOMENDACIONES

Al jefe del centro de INTECAP

1. Considerar la designación del personal encargado y responsable que velen por el cumplimiento de los programas de mantenimiento, tanto de los compresores como de la red de aire comprimido. Con su previa capacitación de manejo y cuidado de los equipos neumáticos.
2. Debe contemplarse una ubicación exclusivamente para los compresores, ya que en su actual localización limita su desempeño y dificulta cualquier operación tanto de utilización como de mantenimiento.
3. Si se desea el aumento de los usuarios, se deben consultar previamente las condiciones actuales, al personal responsable y capacitado que está al tanto de las posibilidades y limitaciones de la instalación. De lo contrario, se sugiere consultar el presente trabajo que contiene los detalles de dicha instalación de aire comprimido, como fuente introductora al personal de mantenimiento.

A los usuarios o al personal de mantenimiento

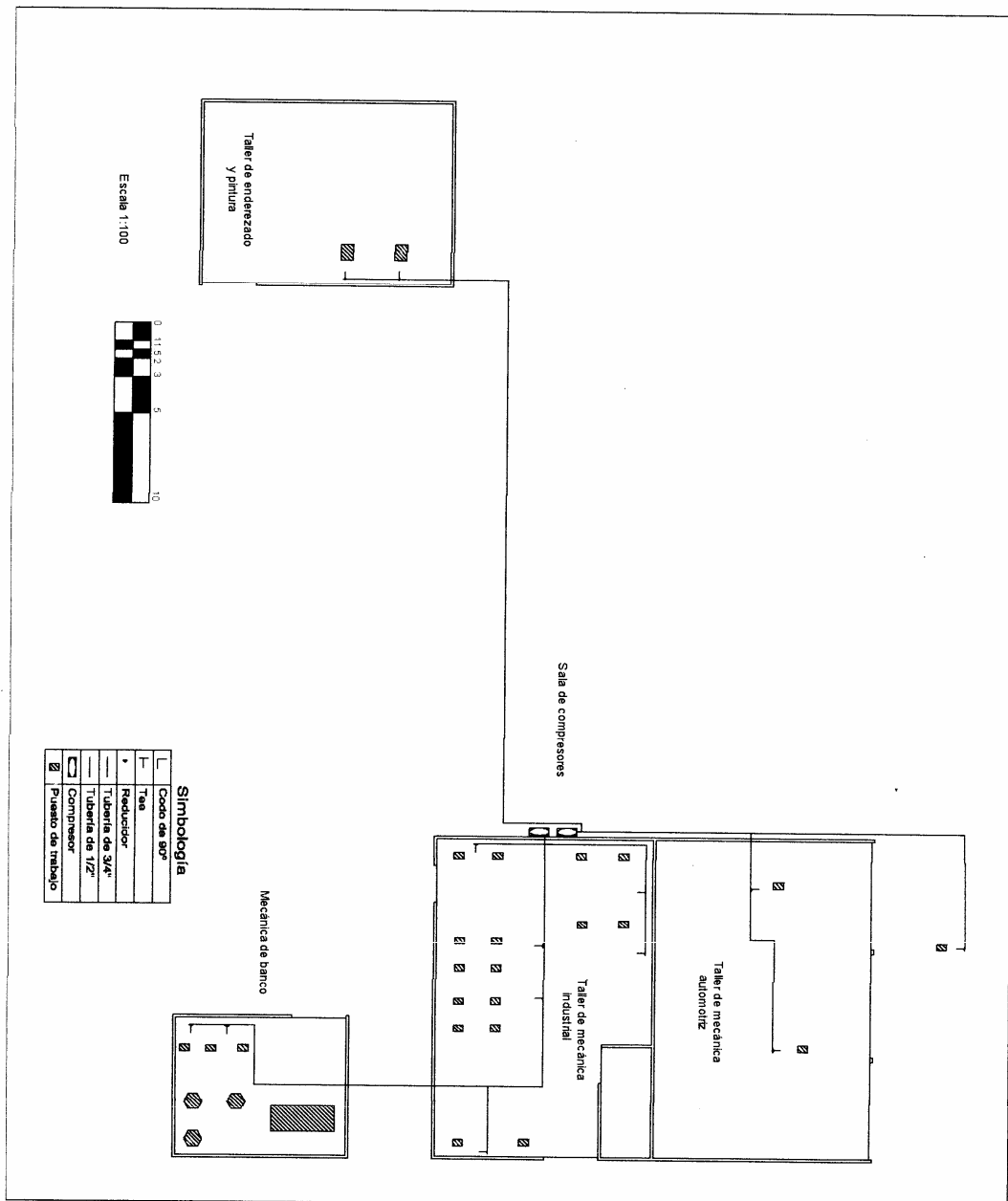
4. Revisar cada vez que sean utilizadas las instalaciones neumáticas, las condiciones del compresor, la presión de trabajo, el purgado del condensado y la funcionalidad de las herramientas neumáticas.
5. Al momento de cualquier anomalía debe detenerse el uso del equipo y, hasta que no sea solucionado el problema no se debe arrancar la unidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Centro nacional colombo alemán. **Neumática básica.**
Colombia: SENA. 80 pp.
2. Elonka Steve. **Operación de plantas industriales.**
2ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1988. 683 pp.
3. Grene Richard W. **Compresores, selección uso y mantenimiento.**
3ª. Edición México: Editorial McGraw Hill, 1989. 450 pp.
4. Juárez Pizza Pedro Antonio. Diseño, montaje y mantenimiento de
Sistemas de aire comprimido. Tesis Ing. Mecánica, Universidad de
San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1979. 82 pp.
5. Manual de fundamentos de aire comprimido, Atlas Copco. 160 pp.
6. Manual del propietario, Operación, mantenimiento, instrucciones y
lista de partes. CompAir Kellogg American. 10 pp.
7. Meixner H. Y Kobler. **Iniciación al personal de montaje y mantenimiento,
neumática.** 3ª. Edición Alemania: Festo Didactic. 1989. 243 pp.

ANEXOS

Figura 35. Plano de tubería de aire comprimido para los talleres de INTECAP, Retalhuleu



Fuente: INTECAP, Retalhuleu

