



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**“DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UNA RED DE DISTRIBUCION NEUMATICA PARA EL  
LABORATORIO DE HIDRAULICA Y NEUMATICA DE LA EIE-CRI”**

**TESIS DE GRADO**

**Previa la obtención del título de**

**INGENIERO EN ELECTRONICA CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**Presentado por:**

**LUIS ALBERTO GARCIA MORA**

**RIOBAMBA- ECUADOR**

**2014**

## **AGRADECIMIENTO.**

Expreso un profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que me acompañaron y apoyaron en mi trayectoria, a los profesores que compartieron sus conocimientos para mi formación, a mi familia por su apoyo incondicional, y de manera muy especial a mis padres que mediante su sacrificio lograron hacer esto posible.

## **DEDICATORIA.**

Dedico este trabajo a Dios por darme la dicha de la vida, a mis padres por guiarme y darme todo su apoyo y estar pendiente de mi bienestar, así también a mi familia por ser parte de mi vida; a la institución por brindarme a través de sus maestros el conocimiento.

NOMBRE

FIRMA

FECHA

Ing. Gonzalo Nicolay Samaniego Erazo.  
DECANO DE LA FACULTAD DE  
INFORMATICA Y ELECTRONICA

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Alberto Arellano Aucancela.  
DIRECTOR DE LA ESCUELA DE  
INGENIERIA ELECTRONICA EN  
CONTROL Y REDES INDUSTRIALES

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Washington Jhony Vizuite Machado.  
DIRECTOR DE TESIS

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Ing. Marco Antonio Viteri Barrera.  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

DPTO DOCUMENTACION

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

NOTA DE LA TESIS

\_\_\_\_\_

“Yo, LUIS ALBERTO GARCIA MORA, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta tesis y el patrimonio intelectual de la misma perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

---

Luis A. Garcia M.

## **INDICE DE ABREVIATURAS**

<b>AP</b>	Alta Presión.
<b>BP</b>	Baja Presión.
<b>DA</b>	Doble Acción.
<b>DE</b>	Doble Efecto.
<b>FR</b>	Filtro Regulador.
<b>FRL</b>	Filtro, Regulador y lubricador.
<b>ID</b>	Identificador.
<b>L</b>	Lubricador.
<b>SA</b>	Simple Acción.
<b>SE</b>	Simple Efecto.

# INDICE GENERAL

## Contenido

AGRADECIMIENTO

DEDICATORIA.

INDICE DE ABREVIATURAS

INDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE TABLAS

INTRODUCCION

CAPITULO I: MARCO DE REFERENCIA .....	- 15 -
1.1. ANTECEDENTES. ....	- 15 -
1.2. JUSTIFICACION. ....	- 16 -
1.3. OBJETIVOS. ....	- 17 -
1.3.1. GENERAL. ....	- 17 -
1.3.2. ESPECIFICOS. ....	- 17 -
1.4. HIPOTESIS. ....	- 17 -
CAPITULO II: FUNDAMENTOS DE NEUMATICA Y AIRE COMPRIMIDO .....	- 18 -
2.1. LA NEUMATICA EN LA INDUSTRIA. ....	- 18 -
2.2. FUNDAMENTOS FISICOS. ....	- 20 -
2.3. PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO .....	- 20 -
2.3.1. PRESION DEL AIRE. ....	- 27 -
2.3.2. PRINCIPIOS FISICOS Y LEYES DE LOS GASES. ....	- 30 -
2.3.3. HUMEDAD DEL AIRE. ....	- 32 -
2.3.3.1. PUNTO DE ROCIO. ....	- 32 -
2.3.3.2. EL PUNTO DE CONDENSACION BAJO PRESION. ....	- 32 -
2.3.3.3. HUMEDAD RELATIVA. ....	- 32 -
2.4. PRODUCCION DE AIRE COMPRIMIDO .....	- 33 -
2.4.1. TIPOS DE COMPRESORES. ....	- 34 -
2.4.1.1. DESPLAZAMIENTO POSITIVO. ....	- 35 -

2.4.1.2. TURBOCOMPRESOR. ....	41 -
2.5. PREPARACION DEL AIRE COMPRIMIDO.....	43 -
2.6. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO.....	44 -
2.6.1. PROCEDIMIENTO DE SECADO DEL AIRE.....	45 -
2.6.1.1. SECADO POR ABSORCION.....	46 -
2.6.1.2. SECADO POR ADSORCION. ....	47 -
2.6.1.3. SECADO POR REFRIGERACION.....	48 -
2.6.1.4. SECADO DE MEMBRANA. ....	49 -
2.6.2. FILTRADO DE AIRE.....	50 -
2.6.2.1. FILTROS DE PARTICULAS. ....	50 -
2.6.2.2. FILTRO COALESCENTES.....	50 -
2.6.2.3. FILTRO DE CARBON ACTIVADO.....	51 -
2.6.3. LUBRICACION DEL AIRE COMPRIMIDO.....	52 -
2.6.4. UNIDADES DE MANTENIMIENTO.....	53 -
CAPITULO III: INSTALACIONES NEUMATICAS COMPONENTES.....	55 -
3.1. DESCRIPCION DE UNA RED. ....	55 -
3.1.1. DISPOSITIVOS DE RED. ....	55 -
3.1.2. TUBERIA PRINCIPAL.....	58 -
3.1.3. TUBERIA SECUNDARIA.....	58 -
3.1.4. TUBERIA DE SERVICIO.....	58 -
3.1.5. VALVULAS Y ACCESORIOS DE LA RED. ....	59 -
3.2. RED AIRE COMPRIMIDO.....	65 -
3.2.1. CONFIGURACION (TIPOS DE RED).....	65 -
3.2.2. PARAMETROS. ....	67 -
3.2.3. TUBERIA.....	68 -
3.2.3.1. RIESGO EN LAS LINEAS DE CONEXION. ....	69 -
3.2.3.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS.....	69 -
3.2.4. INCLINACION. ....	73 -
3.3. DEPOSITO DE AIRE COMPRIMIDO.....	73 -
3.3.1. RIESGO DE LOS DEPOSITOS DE AIRE COMPRIDO.....	74 -
3.3.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD.....	74 -
CAPITULO IV: CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE, Y REDES DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO. ....	77 -

4.1. CALCULOS PRELIMINARES.....	- 79 -
4.2. CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE.....	- 82 -
4.3. DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED.....	- 86 -
4.3.1. PERDIDA DE PRESION QUE SE PRODUCE EN UNA RED.....	- 90 -
4.3.1.1. CALCULO DE PERDIDAS EN CONDUCTOS LINEALES.....	- 91 -
4.3.1.2. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN ELEMENTOS SINGULARES.....	- 95 -
4.3.1.3. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN INSTALACIONES COMPLETAS.....	- 97 -
4.4. CAUSAS DE PRESIONES BAJAS.....	- 98 -
4.4.1. COSTOS DEL AIRE COMPRIMIDO DESPERDICIADO (FUGAS).....	- 100 -
4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL COMPRESOR.....	- 101 -
4.5.1. GRUPO COMPRESOR.....	- 103 -
4.6. DIMENSIONAMIENTO DEL DEPÓSITO.....	- 104 -
CAPITULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA RED NEUMATICA.....	- 107 -
5.1. CONCEPTOS UTILIZADOS.....	- 108 -
5.2. CAUDAL DE CONSUMO DE AIRE DEL LABORATORIO.....	- 110 -
5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL DIAMETRO DE LA TUBERIA.....	- 114 -
5.4. DIMENSIONAMIENTO DEL COMPRESOR.....	- 118 -
5.5. IMPLEMENTACION DE LA RED DE DISTRIBUCION NEUMATICA.....	- 122 -
5.5.1. INSTALACION DE LA TUBERIA PRINCIPAL.....	- 122 -
5.5.2. INSTALACION DE LA TUBERIA DE SERVICIO.....	- 123 -
5.5.3. INSTALACION DEL COMPRESOR.....	- 124 -
CAPITULO VI: COSTO DE LA RED DE DISTRIBUCION NEUMATICA; COMPROBACION DE LA HIPOTESIS.....	- 126 -
6.1. MATERIA PRIMA DIRECTA.....	- 126 -
6.2. MATERIA PRIMA INDIRECTA.....	- 127 -
6.3. MANO DE OBRA.....	- 127 -
6.4. GASTOS VARIOS.....	- 127 -
6.5. VALOR TOTAL DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AIRE.....	- 127 -
6.6. COMPROBACION DE LA HIPOTESIS.....	- 128 -
CONCLUSIONES:	
RECOMENDACIONES:	
RESUMEN:	
SUMMARY:	

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA:

ANEXOS:

## INDICE DE FIGURAS

Figura I. Esquema de compresibilidad del aire. ....	- 22 -
Figura II. Ilustración de la ley de Boyle-Marriotte. ....	- 23 -
Figura III. Ley de la conservación de la masa en la dinámica de los fluidos. ....	- 24 -
Figura IV. a) Flujo laminar; b) Flujo turbulento. ....	- 26 -
Figura V. Diferentes presiones y rangos industriales típicos. ....	- 29 -
Figura VI. Representación gráfica de los márgenes de presión de aire. ....	- 30 -
Figura VII. Diagrama de Mollier. ....	- 33 -
Figura VIII. Clasificación de los compresores. ....	- 34 -
Figura IX. Compresores alternativos. ....	- 35 -
Figura X. Compresor de pistón. ....	- 36 -
Figura XI. Compresor de pistón de simple efecto. ....	- 36 -
Figura XII. Compresor de Pistón de múltiple efecto. ....	- 37 -
Figura XIII. Compresor de diafragma. ....	- 38 -
Figura XIV. Compresores rotativos. ....	- 38 -
Figura XV. Compresor de tornillo. ....	- 39 -
Figura XVI. Compresores de paletas. ....	- 40 -
Figura XVII. Compresores de lóbulos. ....	- 41 -
Figura XVIII. Compresores dinámicos. ....	- 42 -
Figura XIX. Compresor radial. ....	- 42 -
Figura XX. Compresores dinámicos. ....	- 43 -
Figura XXI. Método para secar aire. ....	- 46 -
Figura XXII. Secado por absorción. ....	- 47 -
Figura XXIII. Secado del aire por adsorción. ....	- 48 -
Figura XXIV. Secado del aire por refrigeración. ....	- 49 -
Figura XXV. Secador de membrana. ....	- 50 -
Figura XXVI. Tipos de filtros. ....	- 51 -
Figura XXVII. Lubricador de aire comprimido. ....	- 52 -
Figura XXVIII. Principio de venturi. ....	- 53 -
Figura XXIX. Lubricador de niebla de aceite. ....	- 53 -
Figura XXX. Componentes principales de la unidad de mantenimiento. ....	- 54 -
Figura XXXI. Componentes de una red neumática. ....	- 55 -
Figura XXXII. Postenfriador aire agua. ....	- 56 -
Figura XXXIII. Secador de aire. ....	- 57 -
Figura XXXIV. Equipos adicionales para el sistema de aire comprimido. ....	- 57 -
Figura XXXV. Ejemplo de una red y sus accesorios. ....	- 58 -
Figura XXXVI. Purga de condensado. ....	- 60 -
Figura XXXVII. Válvulas de drenaje automático. ....	- 60 -
Figura XXXVIII. Racores para tubos de acero. ....	- 63 -
Figura XXXIX. Uniones de tubos por bridas. ....	- 63 -

Figura XL. Unión por brida metálica con tubos de material sintético. ....	- 63 -
Figura XLI. Racores de material sintético. ....	- 64 -
Figura XLII. Racor rápido (legris). ....	- 64 -
Figura XLIII. Acoplamiento de tubos flexibles. ....	- 65 -
Figura XLIV. Diseño de una red abierta. ....	- 66 -
Figura XLV. Diseño de una red cerrada. ....	- 66 -
Figura XLVI. Dirección del flujo de una red cerrada para una demanda característica. ....	- 67 -
Figura XLVII. Diseño de una red interconectada. ....	- 67 -
Figura XLVIII. Prevención de dilatación de la tubería. ....	- 70 -
Figura XLIX. Línea de toma de aire. ....	- 71 -
Figura L. Configuración abierta y su inclinación. ....	- 73 -
Figura LI. Accesorios del acumulador. ....	- 75 -
Figura LII. Consumo de aire (l/cm de carrera). ....	- 86 -
Figura LIII. Sala de compresores y tomas de consumo. ....	- 87 -
Figura LIV. Nomograma para el cálculo de carga y diámetro de tubería. ....	- 95 -
Figura LV. Rangos de uso de compresores. ....	- 102 -
Figura LVI. Grupo compresor. ....	- 104 -
Figura LVII. Consumo de aire a través de nomogramas. ....	- 113 -
Figura LVIII. Nomograma del diámetro de la tubería sin pérdida. ....	- 115 -
Figura LIX. Calculador del diámetro de la tubería. ....	- 116 -
Figura LX. Nomograma donde se calcula las pérdidas en el sistema. ....	- 116 -
Figura LXI. Diámetro de la tubería con las pérdidas. ....	- 117 -
Figura LXII. Calculador de la tubería. ....	- 118 -
Figura LXIII. Compresor utilizado en la red. ....	- 121 -
Figura LXIV. Tipos de soportes. ....	- 122 -
Figura LXV. Tipo de soporte utilizado. ....	- 123 -
Figura LXVI. Montaje de la tubería sobre los soportes. ....	- 123 -
Figura LXVII. Instalación de la tubería de servicio y dispositivos de control en los puntos de consumo. ....	- 124 -
Figura LXVIII. Instalación del compresor. ....	- 124 -
Figura LXIX. Instalación completa del laboratorio. ....	- 125 -
Figura LXX. Presión del tanque y presión de la línea respectivamente. ....	- 128 -
Figura LXXI. Mediciones de presión en puntos consumidores. ....	- 130 -
Figura LXXII. Comportamiento de la presión en la red. ....	- 130 -

## INDICE DE TABLAS

Tabla I. Componentes del aire con su respectiva concentración .....	- 20 -
Tabla II. Equivalencias unidades de presión. ....	- 27 -
Tabla III. Diferentes elementos y presiones típicas .....	- 28 -
Tabla IV. Leyes de los gases.....	- 30 -
Tabla V. Cantidad de saturación del aire. ....	- 46 -
Tabla VI. La norma ISO para los filtros. ....	- 51 -
Tabla VII. Calidad de aire comprimido. ....	- 51 -
Tabla VIII. Ventajas y desventajas de los materiales empleados en tuberías de aire comprimido.....	- 59 -
Tabla IX. Equipos y sus pérdidas. ....	- 68 -
Tabla X. Volumen de aire pasando a través de un orificio (scfm).....	- 80 -
Tabla XI. Resumen del consumo típico de herramientas para red de 6 bar.....	- 80 -
Tabla XII. Consumo de aire para cilindros neumáticos. ....	- 84 -
Tabla XIII. Caudal de aire que consume cada equipo y su respectiva presión.....	- 88 -
Tabla XIV. Factor de simultaneidad. ....	- 89 -
Tabla XV. Valores de longitud equivalentes. ....	- 90 -
Tabla XVI. Coeficiente de pérdida ( $\xi$ ), para distintos elementos. ....	- 96 -
Tabla XVII. Longitud de tubería equivalente utilizados en conducciones. ....	- 96 -
Tabla XVIII. Caída de presión de aire (lib/pulg <sup>2</sup> )(por cada 100 pies de tubería p=100 lib/pulg <sup>2</sup> ). - 97 -	
Tabla XIX. Caudal de aire que se pierde según el diámetro del orificio. ....	- 99 -
Tabla XX. Basados en el sistema de 100 PSI. El costo del aire tomado como \$0.54 por cada 1000 pies cúbicos. ....	- 101 -
Tabla XXI. Factor de corrección de altitud. ....	- 109 -
Tabla XXII. Elementos consumidores.....	- 110 -
Tabla XXIII. Otros elementos consumidores. ....	- 110 -
Tabla XXIV. Consumo de aire en el laboratorio. ....	- 112 -
Tabla XXV. Factor de simultaneidad de nuestra red.....	- 119 -
Tabla XXVI. Selección del compresor.....	- 121 -
Tabla XXVII. Clasificación de fluidos. ....	- 125 -
Tabla XXVIII. Materia prima directa. ....	- 126 -
Tabla XXIX. MATERIA PRIMA INDIRECTA. ....	- 127 -
Tabla XXX. Mano de obra. ....	- 127 -
Tabla XXXI. Gastos varios. ....	- 127 -
Tabla XXXII. Costos totales de la red de distribución neumática. ....	- 128 -
Tabla XXXIII. Caída de presión en la red. ....	- 129 -

## INTRODUCCION

Entre las formas más antiguas de energía que ha conocido el hombre consta el aire comprimido, que ha sido utilizado para reducir el esfuerzo físico. El término que determina la neumática es “Pneuma”, el cual fue proporcionado por los griegos. Este término designa la respiración, el viento y, también desde la perspectiva filosófica, el alma. A partir de este término se obtuvo el concepto de neumática, que no es más que el movimiento y procesos del aire.

Para comprender el porqué del amplio uso de la neumática hoy en día, debemos saber que el aire es un recurso abundante en la tierra y de fácil captación, también es un tipo de energía limpia. Podemos notar que los elementos neumáticos de trabajo funcionan a velocidades razonablemente altas y de fácil regulación, además de que los componentes de un circuito neumático no sufren daños debido a que el aire no produce el efecto de golpe de ariete, también permite cambios de sentido en los componentes de manera instantánea.

La utilización de aire comprimido también tiene ciertos inconvenientes como las pérdidas que son considerables cuando tenemos circuitos muy extensos, para recuperar el aire utilizado se debe hacer instalaciones especiales. También las presiones que se utilizan no son de gran fuerza, y además generan ruido en cada descarga.

## **CAPITULO I: MARCO DE REFERENCIA**

La realización del proyecto de tesis requiere plantearse datos importantes como objetivos, hipótesis, entre otros que se describirán en este capítulo.

### **1.1. ANTECEDENTES.**

La utilización de aire comprimido es en si la neumática, cuyo proceso es tomar el aire de la atmosfera, comprimirlo y pasarlo a presión por espacios reducidos con la finalidad de producir energía que luego será convertida en trabajo. En los sistemas neumáticos el aire comprimido es producido por el compresor, que está compuesto por una bomba que es accionada por un motor eléctrico, este aire comprimido es almacenado en depósito o receptor. Desde aquí el aire es transportado a través de tuberías y válvulas a los cilindros, que son los encargados de transformar la energía neumática en trabajo.

Estos procesos hoy en día se ejecutan de manera automática usando equipos que permiten la automatización. El Ingeniero Electrónico, titulado en la carrera de Ingeniería Electrónica Control y Redes Industriales de la Facultad de Informática y

Electrónica, es un profesional multidisciplinario cuyo campo de acción incluye sistemas para la implementación de procesos industriales, incorporando los principios neumáticos, hidráulicos, eléctricos, entre otros, acorde a las necesidades que en la actualidad presenta el sector industrial.

La carrera de INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, CONTROL Y REDES INDUSTRIALES cuenta con una cantidad considerable de estudiantes e incorpora asignaturas que integran un buen perfil profesional para garantizar un eficiente desempeño en el campo laboral. Es necesario que el proceso de enseñanza-aprendizaje teórica y práctica se complementen para que el profesional egresado de la Escuela no presente falencias en el momento en que se encuentra ante el ambiente industrial real. Gracias a las gestiones de la dirección de la escuela se ha logrado implementar algunos laboratorios, como son de Electrónica, Robótica y Máquinas, existen además equipos neumáticos para desarrollar prácticas en las áreas de Control haciendo necesaria una red de distribución neumática que permita alimentar a los equipos que utilizan este tipo de energía para su funcionamiento.

## **1.2. JUSTIFICACION.**

El laboratorio de la escuela de EIE-CRI cuenta con varios módulos de entrenamiento neumático, pero no poseen fuentes de alimentación neumática que abastecen los procesos. Haciendo imposible trabajar con los módulos de la manera más adecuada.

Mediante la implementación de la red de distribución neumática se obtendrá una mayor modularidad del laboratorio de neumática e hidráulica.

Este proyecto tiene como finalidad beneficiar a la Escuela de ingeniería electrónica control y redes industriales, mejorando así la educación en el área de la neumática, para formar profesionales competentes.

### **1.3. OBJETIVOS.**

#### **1.3.1. GENERAL.**

- Diseñar e implementar una red de distribución neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE-CRI.

#### **1.3.2. ESPECIFICOS.**

- Investigar los elementos necesarios para la implementación de una red de distribución neumática y sus características técnicas.
- Diseñar la red de distribución neumática.
- Calcular los parámetros de diseño de la red de distribución neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE-CRI.
- Seleccionar y adquirir los elementos necesarios que permitan la implementación de una red neumática para mejorar la modularidad del laboratorio.
- Implementar la red con los respectivos elementos de seguridad.

### **1.4. HIPOTESIS.**

El proyecto de diseño e implementación de una red de distribución neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE-CRI, satisfará la necesidad de aprovechar al máximo los equipos con que cuenta este.

## **CAPITULO II: FUNDAMENTOS DE NEUMATICA Y AIRE COMPRIMIDO**

Aquí detallaremos todo lo concerniente al área de estudio que interviene en la realización del proyecto de tesis.

### **2.1. LA NEUMATICA EN LA INDUSTRIA.**

En el control automático la neumática constituye una parte muy importante en la industria.

La neumática tiene, en la actualidad, un extenso campo de actuación en la industria, para mover, rotar, levantar, prensar, etc.; con el consiguiente control de velocidad, dirección y fuerza.

Las posibilidades que brinda, hacen de ella un soporte incuestionable para alcanzar un cierto grado de automatización en la industria, en combinación con otras técnicas.

“Los términos neumáticos y neumática proviene de la palabra griega Pneuma, que significa aliento o soplo. En su acepción original, la neumática se ocupa de la dinámica del aire y de los fenómenos gaseosos, pero la técnica ha creado de ella un concepto propio, pues en neumática solo se habla de la aplicación de la sobrepresión o de la presión de vacío” CISNEROS (1). Entre las fuentes de energía más importante en plantas industriales, cuenta la neumática junto a la corriente eléctrica.

El descubrimiento del aire como medio de energía se remonta a muchos siglos. En la edad antigua se sabía que el aire permitía transportar energía. La neumática industrial, de hoy, empezó su desarrollo después de 1950, primero en EE.UU. y posteriormente en Alemania, aquí la neumática se revela como una eficaz herramienta en la industria que con toda seguridad se ampliara con el futuro, desarrollando nuevos aparatos y campos de aplicación.

En la industria la aceptación generalizada que disfruta las maquinas neumáticas se explican por varias razones:

El aire comprimido es fácil de transportar además es de fácil almacenamiento en depósitos.

No hay riesgo de producirse explosiones. También podemos considerar que el mantenimiento es simple, la presión puede ser utilizada en varios niveles en función de lo admitido

Son ventajas muy convenientes. En la explosión industrial actualmente, se dispone de una red de aire comprimido para el funcionamiento de numerosas máquinas y diversos actuadores. Para la transferencia de energía se utilizan compresores. Por este motivo en la industria existen varios aparatos neumáticos.

## 2.2. FUNDAMENTOS FISICOS.

El aire sometido a presión está compuesto generalmente por 21% de oxígeno, 78% de nitrógeno y un 1% de otros gases. Como se indica en la Tabla I.

Componente Aproximada	Concentración
1. Nitrógeno	(N) 78.03% en volumen
2. Oxígeno	(O) 20.99% en volumen
3. Dióxido de carbono	(CO <sub>2</sub> ) 0.03% en volumen
4. Argón	(Ar) 0.94% en volumen
5. Neón	(Ne) 0.00123% en volumen
6. Helio	(He) 0.0004% en volumen
7. Criptón	(Kr) 0.00005% en volumen
8. Xenón	(Xe) 0.000006% en volumen
9. Hidrogeno	(H) 0.01% en volumen
10. Metano	(CH <sub>4</sub> ) 0.0002% en volumen
11. Óxido nitroso	(N <sub>2</sub> O) 0.00005% en volumen
12. Vapor de agua	(H <sub>2</sub> O) variable
13. Ozono	(O <sub>3</sub> ) variable
14. Partículas	variable

Tabla I. Componentes del aire con su respectiva concentración

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>, pag. 3.

El aire atmosférico y la altura geográfica están en dependencia. Los siguientes son la presión y la temperatura del aire con la altitud de referencia:

$$P_0 = 1.013 \text{ bar Y } t_0 = 20^\circ\text{C o } P_0 = 1.03 \text{ bar y } t_0 = 0^\circ\text{C}$$

## 2.3. PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO

La neumática es joven y está en constante expansión, haciendo que el número de dispositivos aumente. Pero los principios físicos no cambian.

La neumática se ha expandido con tanta rapidez debido a que muchas soluciones a algunos problemas de automatismos no disponen de otros medios más simples y más económicos.

Las propiedades más populares que destacan del aire comprimido son:

*Alta disponibilidad:* se puede obtener fácilmente mediante un compresor. No tiene costo, no presenta cambios; tan solo necesita realizar un solo paso para ser energizado. Se encuentra disponible en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.

Los inconvenientes a considerar se relacionan con su estado. La temperatura del aire influirá en el comportamiento del aire comprimido. Durante la compresión se deposita agua que en estado comprimido se convierte en vapor de agua.

*Transporte:* Es fácilmente transportado por tuberías a grandes distancias, sin necesidad de tuberías de retorno.

*Almacenable:* Puede ser almacenado en un depósito que contenga la demanda a presiones permitidas. Esto hace que no sea preciso que el compresor permanezca encendido, además de poder ser transportado en recipientes cerrados.

*Temperatura:* Con variación de temperatura el aire comprimido es insensible; lo cual hace que el trabajo sea seguro incluso en extremadas temperaturas.

*Antideflagrante:* Debido a que no existe riesgo de explosión ni incendios, las instalaciones Antideflagrante no son necesarias; una gran ventaja ya que estas son costosas.

*Limpio:* Utilizando los filtros de aire podremos garantizar que el aire que ingresa a nuestro sistema sea limpio; permitiendo así que nuestro sistema sea libre de impurezas, sin riesgos de contaminación por fuga.

*Construcción de los elementos:* son económicos y de simple concepción.

*A prueba de sobrecarga:* Los elementos de trabajos y las herramientas neumáticas soportan una parada completa si sufrir sobrecargas.

Se puede utilizar las propiedades adversas para saber el campo preciso de utilización neumático.

*Preparación.* La preparación de aire debe eliminar impurezas y humedad para que no existan desgastes en mandos y actuadores.

*Compresible.* Al ser el aire un gas posee la propiedad de ocupar el volumen del recipiente que la contiene; se puede reducir el volumen mediante la compresión. El aire comprimido no hace posible velocidades uniformes y constantes para los émbolos.

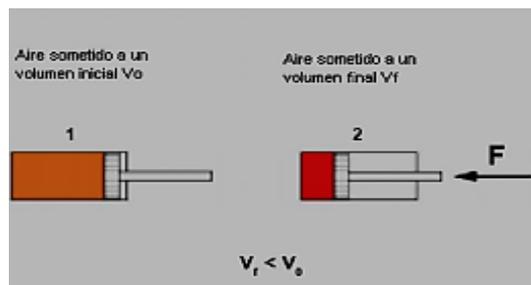


Figura I. Esquema de compresibilidad del aire.

Fuente: PARKER, Hannifin., Ind. Tecnología pneumática industrial., Brasil, 2000. pag 7.

La ley de Boyle-Mariotte rige estos principios. La cual manifiesta que el volumen de un gas encerrado en un recipiente a temperatura constante, es inversamente proporcional a la presión absoluta, el producto de la presión absoluta y el volumen es constante para una cantidad determinada de gas.

$$P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3 = constante \quad ECUACION 2.1$$

Esta ley se ilustra en la Figura II.

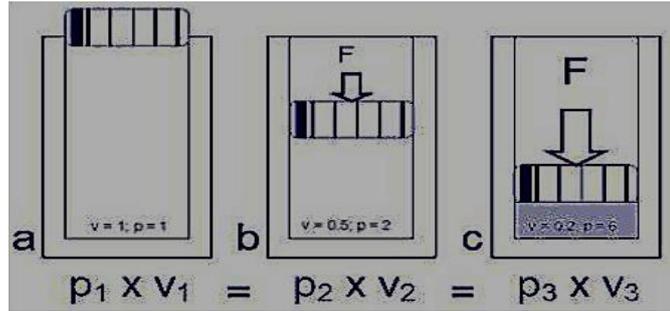


Figura II. Ilustración de la ley de Boyle-Marriotte.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag. 6.

*Fuerza.* A presiones de servicio normal (700 Kpa=7 bar), a velocidades en funcionamiento de la carrera de (20000 a 30000 N=2000 a 3000 Kpa), puede resultar barato solo hasta determinada fuerza.

*Escape.* Debido al ruido producido por el escape de aire, se ha desarrollado de materiales isonorizante.

*Costo.* Este tipo de energía se la considera relativamente cara, compensado por los elementos económicos y un buen rendimiento del sistema.

*Flujo.* Es el movimiento tanto de los gases como de los líquidos ambos denominados fluidos. La diferencia entre los líquidos y los gases radica en que los líquidos casi no se pueden comprimir, y el volumen de los gases depende de la presión. El volumen específico, la presión y la temperatura son magnitudes que están relacionadas. Por lo tanto, tiene validez la siguiente ecuación general:

$$\frac{P \cdot V_{esp}}{T} = const. \quad \text{Ecuacion 2.2.}$$

Al fluir aire a través de un tubo, el caudal  $l'$  esta es expresada en unidades de tiempo.

De acuerdo con la Figura III.

$$V = A \cdot L \text{ en } m^3/s \quad \text{Ecuacion 2.3}$$

$$\text{A area interior del tubo en } m^2 \quad A = \frac{(\pi D^2)}{4} \quad \text{Ecuacion 2.4}$$

L la longitud que fluye un segmento en un segundo cuyas unidades son expresadas en m/s.

Al fluir por un circuito, puede pasar por secciones de menor diámetro. Aquí se aplica la ecuación de continuidad, de la Figura III.

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 = \text{constante} \quad \text{Ecuacion 2.5}$$

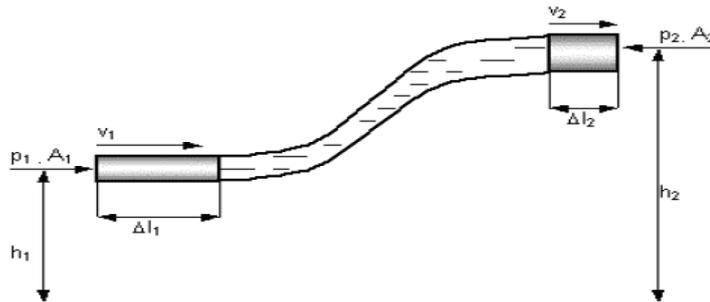


Figura III. Ley de la conservación de la masa en la dinámica de los fluidos.

Fuente: CARNICER, E., *Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones.*, 4.ed., Barcelona-España., Gustavo Gili, 1977.

**Velocidad.** En los sistemas neumáticos, el consumo de aire está representado por el caudal Q en los equipos de la red neumático. La unidad básica para el caudal Q es el metro cubico normal por segundo ( $m^3/s$ ). En la neumático práctica, los volúmenes se expresan en términos de litros por minuto (l/m) o decímetros cúbicos por minuto ( $dm^3/min$ ). La unidad no métrica habitual para el gasto volumétrico es el “pie cúbico estándar por minuto” (Cfm).

Teniendo en cuenta la altura, temperatura y humedad del lugar además de los dispositivos que puedan condicionar el volumen desplazado (filtros y válvulas de descarga, entre otros).

Cuando el valor del caudal es expresado en metros cúbicos estándares ( $\text{sm}^3/\text{s}$ ) o pies cúbicos por minuto estándar (scfm), las condiciones de funcionamiento del compresor son las definidas como estándar, presión 101,300 kPa (4.7 psi), temperatura  $15^\circ\text{C}$  y humedad relativa de 0%.

Igualmente puede emplearse  $\text{Nm}^3/\text{s}$  (metros cúbicos normales por segundo) o Ncfm (pies cúbicos por minutos normales). La principal diferencia entre condiciones normales y condiciones estándares es que la temperatura y humedad relativa de la última son  $0^\circ\text{C}$  y 36% respectivamente. Los compresores reportan generalmente valores de caudal en términos estándares (scfm o  $\text{sm}^3/\text{s}$ ).

Para indicar el aire realmente entregado por el compresor, tomando antes del filtro de admisión; se emplea Acfm (pies cúbicos por minutos actuales) o  $\text{Am}^3/\text{s}$  (metros cúbicos actuales por segundo).

Cuando se emplea  $\text{lm}^3/\text{s}$  (metros cúbicos a la admisión por segundo) o lcfm (pies cúbicos por minuto de admisión). Es el aire atmosférico tomado después del filtro.

Los prefijos que denotan la unidad de caudal establecen las condiciones del cálculo:

S: Condiciones estándares (Norma Americana).

N: Condiciones normales (Norma Europea).

A: Condiciones actuales (Medio ambiente en el sitio de instalación del compresor).

L: Condiciones de admisión (En la brida de la admisión).

“Si el caudal esta expresado en condiciones normales (Nm<sup>3</sup>/h) o (Ncfm); sin elementos perturbadores el flujo es laminar, la pared interior del tubo es ligeramente menor que en el centro (Fig IV.), como en las derivaciones o desviaciones. La presencia de accesorios, instrumentos de medición o válvulas provocan turbulencia.

El índice de Reynolds (O. Reynolds 1842-1912) determina el limita entre flujo laminar y flujo turbulento. Expresa la fuerza de fricción ocasionada por los elementos que perturban el flujo.

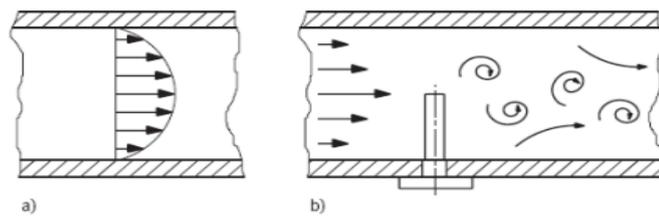


Figura IV. a) Flujo laminar; b) Flujo turbulento.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 200. pag 12.

Si el número de Reynolds que se representa por Re, es menor de 2.320 aproximadamente, el flujo a través de la tubería es siempre laminar; cuando los valores son más elevados a 2.320 e inferior a 3000 suele ser turbulento. El concepto de números de Reynolds es esencial para gran parte de la moderna mecánica de fluido para estudiar el movimiento de un fluido en el interior de una tubería, o alrededor de un obstáculo sólido.

La siguiente formula indica la velocidad media del flujo:

$$V_m = \left(\frac{m}{A}\right) * V_{esp} [m/s] \quad ECUACION 2.6.$$

Para familiarizarnos con estos principios neumáticos, veremos un breve resumen sobre:

Los diferentes conceptos de presión: atmosférica, relativa, absoluta,....

Las diferentes leyes y la ecuación general de los gases ideales.

Las propiedades de la mezcla de gases y los conceptos asociados con el aire comprimido, como la humedad.

### 2.3.1. PRESION DEL AIRE.

La presión es el coeficiente entre la fuerza normal aplicada sobre un cuerpo y la superficie sobre la que incide. De esta forma obtenemos una formula fundamental:

$$P = \frac{F}{A} [Pa] \quad \text{Ecuacion 2.7}$$

P es igual a presión con sus unidades expresadas en el sistema inglés (lbf/in<sup>2</sup>) a su vez en el sistema internacional tenemos (kgf/cm<sup>2</sup>).

<b>1 Atmosfera física o estándar (atm)=760 mmHg.</b>
<b>1 Atmosfera métrica= 1kg/cm<sup>2</sup>=14,223 PSI.</b>
<b>1 atm=1,03323 kg/cm<sup>2</sup>=101.325 pa~1013 mbar.</b>
<b>1 PSI=1 libra fuerza/inch<sup>2</sup>=68,95 mbar.</b>
<b>1 baria=1 Dina/cm<sup>2</sup>.</b>
<b>1 Pascal= 1 Newton/m<sup>2</sup>.</b>
<b>1 torr=1 mmHg abs(para vacio)= 1,334 mbar aprox.</b>
<b>1 bar= 100000 Pa=10N/cm<sup>2</sup>=106barias=14,50 PSI=10,197 kgf/m<sup>2</sup></b>

Tabla II. Equivalencias unidades de presión.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag. 8.

Para apreciar más intuitivamente los niveles de presión que representan las unidades se presentan algunos datos sobre las presiones a las cuales están sometidos los fluidos en diferentes instalaciones o depósitos industriales.

Elemento	Fluido	Presión
<b>Extintor de incendios</b>	Agua/polvo	~15/20kg/cm <sup>2</sup>
<b>Instalación hidráulica en barcos (tubería de alta presión)</b>	Aceite	~250kg/cm <sup>2</sup>
<b>Instalación de calefacción en el hogar</b>	Agua	1 bar

Tabla III. Diferentes elementos y presiones típicas

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag. 9

Debemos conocer los diferentes conceptos relacionados con la presión. El primero de ellos es la presión atmosférica, que es la presión ejercida sobre todos los cuerpos por los gases contenidos alrededor de la tierra que no escapan al espacio exterior debido a la fuerza de la gravedad terrestre y forman una envoltura relativamente delgada alrededor de esta. Torricelli, con su famoso experimento, determino que, a nivel del mar, la atmosfera ejerce la misma presión que una columna de mercurio de 760mm de altura.

Para poder tener valores de presión definidos, a pesar de las variaciones climatológicas, la norma DIN ha definido un valor de presión de referencia. La presión atmosférica estándar al nivel del mar es 1013.25 milibares absoluta y 288 k (15°C).

También tenemos la presión absoluta, que es la que soporta un sistema respecto al cero absoluto. Decimos que existe sobrepresión si la presión absoluta es superior a la atmosfera, y depresión si esta es menor. La sobrepresión y la depresión son la presión relativa. Hay que tener en cuenta, que tanto la presión absoluta ( $P_{abs}$ ) como la presión relativa ( $P_{rel}$ ) están en función de la presión atmosférica ( $P_{atm}$ ).

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{ref} \quad \text{Ecuacion 2.8.}$$

Por otra parte, las principales presiones que encontramos en un sistema neumático son:

*Presión máxima admisible (PMA):* es el mayor valor de presión efectiva a la que puede ser sometido un elemento de la instalación. Se mide normalmente en bar o Pa.

*Presión de entrada (PE) y de salida (PS):* es la presión del aire comprimido a la entrada de un componente neumático. Se miden normalmente en bar.

Estas miden en bares relativos a la presión atmosférica. El cero del manómetro es la presión atmosférica (que varía con las condiciones climatológicas), por eso para los cálculos se utiliza la presión absoluta (Figura V.).

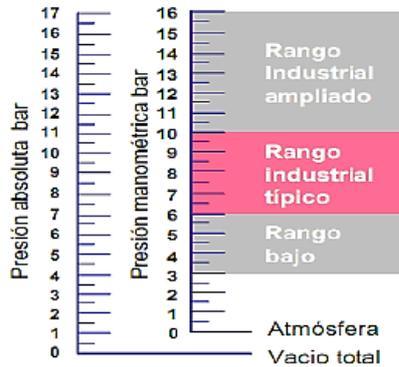


Figura V. Diferentes presiones y rangos industriales típicos.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag. 10.

**Presión atmosférica o barométrica.-** Es la presión que existe en la tierra y varía de acuerdo a la altura y vapor de agua (presión a nivel del mar es 14,68 psi).

**Presión absoluta.-** Es la presión medida en vacío o cero absoluto.

**Vacío.-** Esta presión es la resultante del valor por debajo de la presión atmosférica (presión negativa), esta expresada en pulgadas de mercurio o de agua.

**Presión diferencial.-** Es la diferencia entre las presiones absolutas.

**Sobrepresión.-** Presión superior a la atmosférica (representada por el valor cero)

**Presión de flujo.-** Presión de suministro de aire en los puntos de consumo.

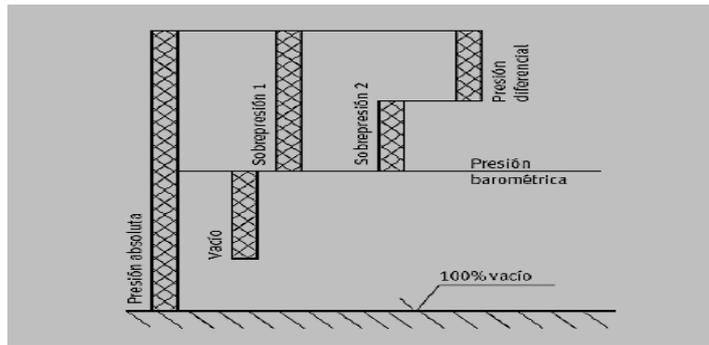


Figura VI. Representación gráfica de los márgenes de presión de aire.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG & Co., 200. pag 16.

### 2.3.2. PRINCIPIOS FISICOS Y LEYES DE LOS GASES.

Las condiciones de un gas se definen mediante tres variables de estado, que son: Presión absoluta (P), volumen específico (v, o densidad, ρ) y temperatura absoluta (T). Cuando se conocen dos de ellas, queda determinada la condición del gas, debido a la reacción que existe entre ellas. A esta conclusión se llegó a través de la experimentación y las leyes que se anuncian a continuación en la Tabla IV.

Ley de Boyle Mariotte [T=cte]	$P_1 V_1 = P_2 V_2 = cte$
Ley de Charles Gay-Lussac [P=cte]	$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = cte$
Ley de Amonton [V=cte]	$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} = cte$
Ley de Dalton (de las presiones parciales)	La presión de una mezcla de gases es la suma de presiones parciales de los gases constituyentes. La presión parcial es la que ejercerá cada gas si ocupara el solo el volumen de la mezcla
Ley de amagat	El volumen de una mezcla de gases es igual a la suma de los volúmenes parciales que los gases constituyentes ocuparían se estuvieran cada una a la presión de la mezcla.
Ley de avogradro	$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2} = cte$
Ley de Poisson [Proceso adiabático]	$P \cdot V^k = P_0 V_0^k = cte$ K: exponente isotrópico ( $C_p/C_v$ ). Varía con P y, aunque se suele asumir constante. Para gases monoatómicos, K=1,66; Biatómicos, K=1,40 (aire)

Tabla IV. Leyes de los gases.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag. 10.

### **Ley general de los gases.**

La composición química del aire comprimido, hace que lo podamos tratar como un gas ideal. Si usamos las leyes anteriormente descrita y las combinamos, a través de desarrollos matemáticos, llegaremos a la siguiente formula:

$$\frac{P_0 V_0}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T} = cte \quad \text{Ecuacion 2.9.}$$

La fórmula es general para los gases ideales. Sustituyendo todas las leyes en una misma fórmula y teniendo en cuenta que un mol de gas en condiciones estándares ocupa un volumen de 22,4 litros, se puede demostrar que tenemos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T \quad \text{Ecuacion 2.10.}$$

Donde P es la presión absoluta en atmósfera, V el volumen en litros, n el número de moles, R constante e igual a 0.082 (atm\*L)/(K\*mol) y T es la Temperatura en Kelvin.

Es importante saber que se definen unos estados de referencia que se usan a la hora de realizar cálculos mediante estas ecuaciones, y son las denominadas condiciones normales o estándar, términos definidos por la IUPAC (Internacional Union of Pure and Applied Chemistry) que considera una temperatura de 0 °C (273.15K) y una presión absoluta de 100 kPa (0.986 atm, 14.504 psi). Existen otras condiciones estándares, como la versión del NIST (National Institute of Standards) en la que la temperatura de preferencia es de 20°C (293.15°K) y la presión aabsoluta de 101.325 kPa (1 atm, 14.696 psi).

### **2.3.3. HUMEDAD DEL AIRE.**

El aire en estado natural se encuentra compuesto por vapor de agua, que al condensarse genera gotas de agua.

#### **2.3.3.1. PUNTO DE ROCIO.**

Es el punto de condensación del vapor de agua, una saturación completa corresponde a una humedad de 100%.

Temperaturas bajas inferiores a cero producen daños a los componentes debido a que se produce la congelación. La temperatura y la presión determinan el grado de vapor de agua que pueden contener estas; a mayor temperatura mayor cantidad de agua, y a mayor presión disminuye la cantidad de agua que puede tener el aire

#### **2.3.3.2. EL PUNTO DE CONDENSACION BAJO PRESION.**

Es determinado para comparar los diversos tipos de secadores de aire.

#### **2.3.3.3. HUMEDAD RELATIVA.**

Se trata de la humedad tratada en aire atmosférico.

Corrección de la humedad relativa:

$$W_{ref} = \frac{\text{Humedad absoluta del aire } (f)}{\text{Humedad maxima del aire } (f_{max})} * 100\% \quad \text{Ecuacion 2.11}$$

**Humedad máxima del aire ( $f_{max}$  en  $g/m^3$ ).**

Cantidad máxima de humedad por metros cúbicos de aire a cierta temperatura.

**Humedad absoluta del aire (f en g/m<sup>3</sup>).**

Cantidad de humedad por metros cúbicos reales.

**¿Cómo puede determinarse el punto de rocío?**

De la siguiente manera:

$$X = 0.622 \frac{W_{ref} * P_s}{P - W_{ref} * P_s} * 10^3, \text{ en } g/kg \quad \text{ECUACION 2.12.}$$

P presión total absoluta.

W<sub>ref</sub> Humedad relativa (φ=0 hasta 1.0).

P<sub>s</sub> Presión de saturación.

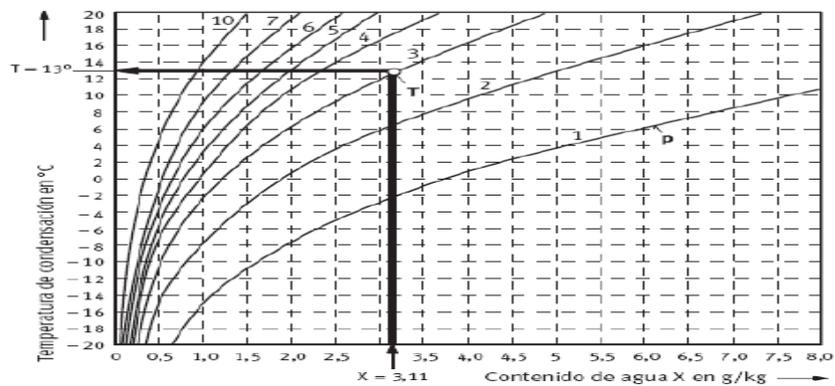


Figura VII. Diagrama de Mollier

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 200. pag. 23.

## 2.4. PRODUCCION DE AIRE COMPRIMIDO.

Para la producción de aire comprimido se utilizan maquinas que elevan la presión de aire, estos son llamados compresores. El aire llaga a las instalaciones a través de tuberías.

Se debe considerar un tamaño superior de la red para proveerla de aire, para poder distribuir el aire por las instalaciones y también para futuras ampliaciones. Con el fin de

que el compresor abastezca a toda la red, y así reducir los costos para futuras ampliaciones.

La pureza del aire es muy importante. Permitiendo así que el purificador de aire dure más.

### 2.4.1. TIPOS DE COMPRESORES.

Debido al trabajo que ejercen, al caudal que suministran y a la presión que trabajan, estos son empleados en diversos tipos de construcción, existen dos tipos básicos de compresores.

El primero funciona bajo el principio de desplazamiento. La compresión al ingresar el aire en un recinto hermético, reduciendo luego el volumen. Esto corresponde a un compresor de embolo (oscilante o rotatorio).

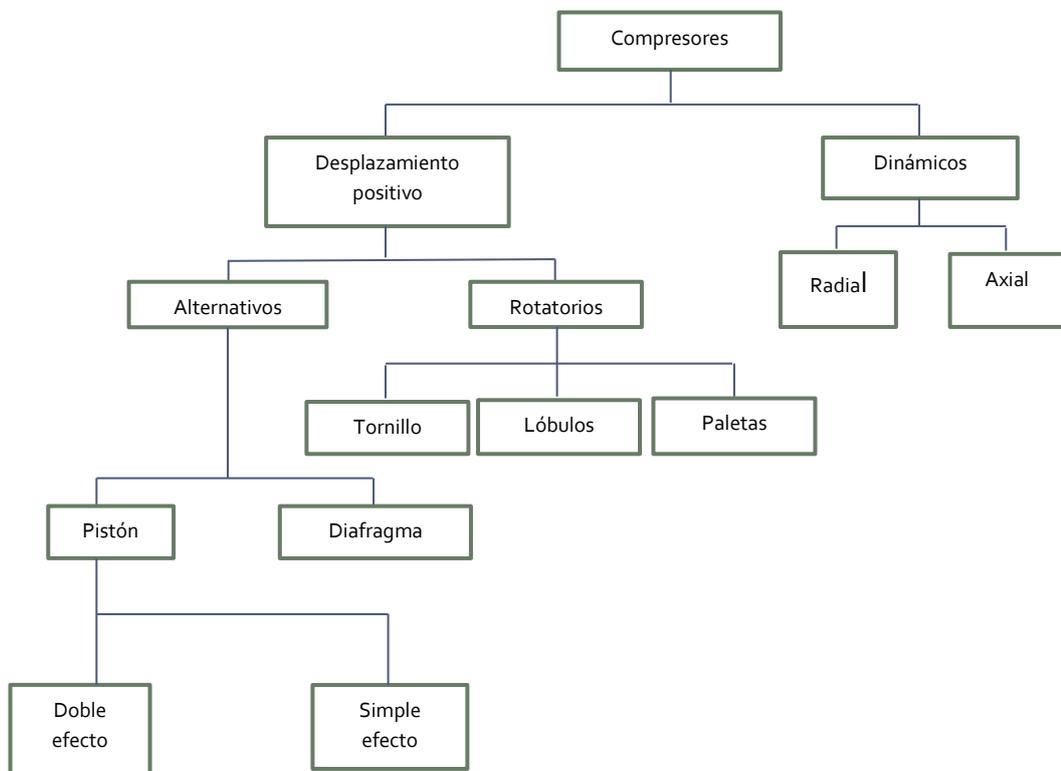


Figura VIII. Clasificación de los compresores.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag. 14.

### 2.4.1.1. DESPLAZAMIENTO POSITIVO.

El incremento de presión de un determinado volumen de aire mediante compresores de desplazamiento positivo, se produce mediante la reducción del volumen inicial de aire confinado en el compresor. Se conforman generalmente por un elemento compresor (pistón o rotor) y otro receptor (cilindro o carcasa) donde es dispuesto el aire a comprimir.

#### Alternativos.

En los compresores alternativos el volumen inicial es reducido mediante el movimiento oscilante de un elemento (pistón o diafragma) que comprime y desplaza el gas dentro de una carcasa o cilindro, elevando la presión del fluido hasta la deseada. En esta clase de máquinas de desplazamiento positivo, se encuentra los compresores de pistón y los de diafragma.

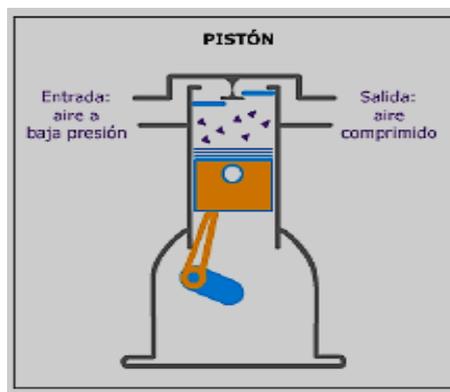


Figura IX. Compresores alternativos.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 19.

*Compresores de pistón.*- El compresor de pistón es uno de los más antiguos diseños de un compresor, pero pese a esto sigue siendo versátil y eficaz. La compresión del aire es realizada por uno o varios pistones que actúan dentro de una camisa o cilindro. En estos compresores la compresión del gas se produce como consecuencia del movimiento rectilíneo alternativo de un pistón o embolo en un cilindro. El movimiento suministrado

por el motor impulsor, en la mayoría de los casos rotativos, se transforma en movimiento alternativo o recíprocante con la ayuda de un mecanismo biela-manivela (cigüeñal).

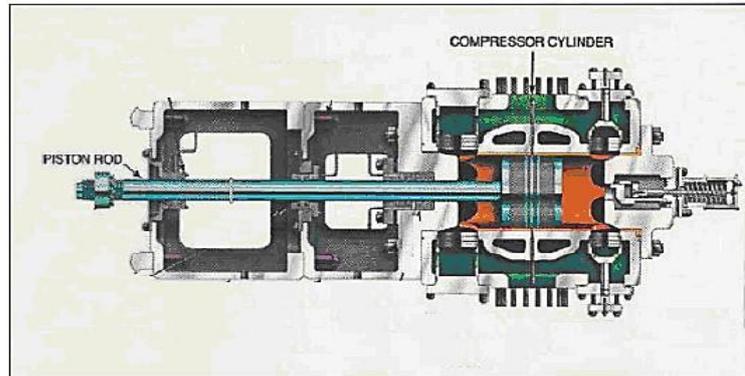


Figura X. Compresor de pistón.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 15.

En los compresores de pistón de simple efecto el gas únicamente es comprimido en la carrera ascendente del pistón, debido a esto son los más simples y conocidos en el mercado. El aire luego de incrementar su presión, es llevado al tanque de almacenamiento y luego a la herramienta o sistema de control que lo requiera. Los compresores de simple efecto se caracterizan por su baja capacidad, ser compactos y menos costosos, enfriados por el aire y adecuados para situaciones de uso no frecuente del aire comprimido o cuando el compresor debe ir instalado en el sitio de trabajo.

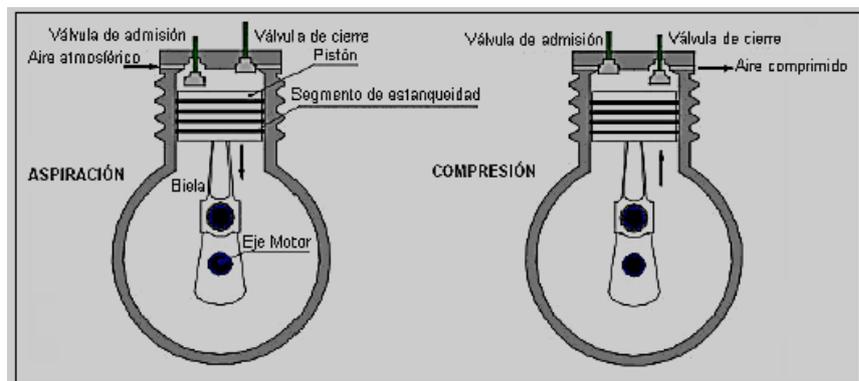


Figura XI. Compresor de pistón de simple efecto.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 17

Por su parte, en los compresores de pistón de doble efecto el gas es comprimido tanto en la carrera ascendente como en la carrera descendente del pistón. Este tipo de operación, permite en algunos casos, usar cada pistón como un compresor de múltiples etapas.

Debido a este tipo de operación, estos compresores poseen dos juegos de válvulas de admisión y descarga por cilindro. Los compresores de doble efecto se caracterizan por suministrar el doble de aire que un compresor de simple efecto, bajo iguales condiciones de velocidad y volumen. Además, son adecuados para aplicaciones de gran capacidad, trabajo continuo y servicio pesado.

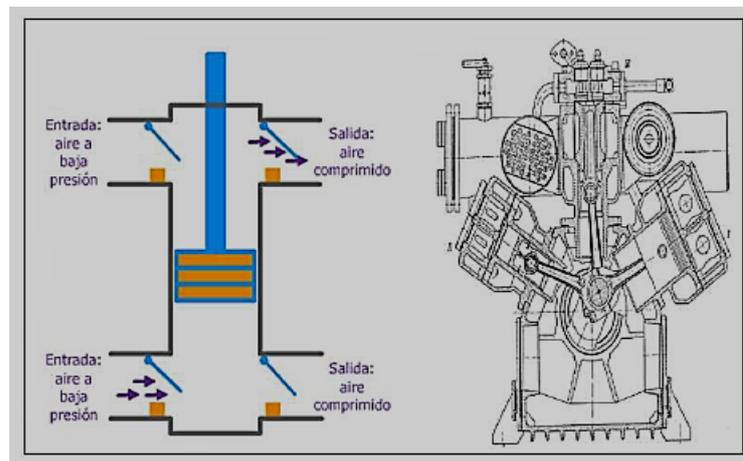


Figura XII. Compresor de Pistón de múltiple efecto.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 21.

*Compresores de diafragma:* En este tipo de compresores la cámara de compresión es separada del pistón, por medio de un disco metálico delgados y flexibles llamados diafragmas, evitando la presencia de aceite en la descarga del compresor. Al igual que en los compresores de pistón, este último es sometido a un movimiento alternado por un mecanismo excéntrico. El movimiento oscilante del pistón es transmitido al diafragma por medio de un fluido hidráulico. Esta acción somete a la membrana a movimientos cortos e intermitentes, conduciendo a los procesos de aspiración y compresión. Por lo general se encuentra en modelos de una y dos etapas.

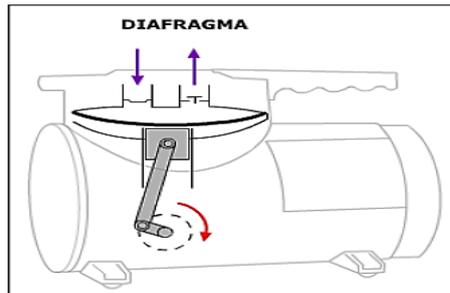


Figura XIII. Compresor de diafragma.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 16.

## Rotativos.

Los compresores rotativos producen aire comprimido mediante el empuje continuo del mismo desde la aspiración hasta la descarga del compresor, a través de un sistema rotatorio. Se destaca en esta clase de compresores rotatorios, los de tornillos, los de lóbulos y los de paletas.

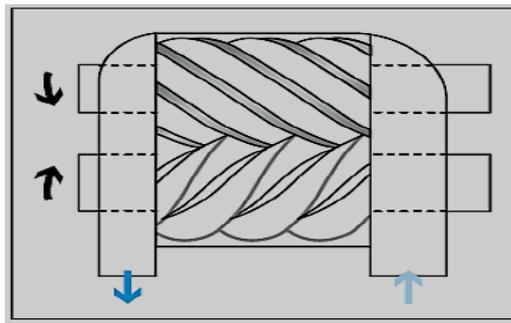


Figura XIV. Compresores rotativos

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 22.

“*Compresores de tornillo.*” Están formados por dos tornillos que van aspirando y comprimiendo gas a la vez; de manera que el espacio entre los dos tornillos se va reduciendo y comprimiendo el gas. La rotación permanente del tornillo helicoidales, permiten la compresión del aire que se desplaza en sentido axial, hasta la presión de trabajo requerida en este tipo de compresores. Se distinguen por presentar presiones mayores que otras máquinas rotatorias de desplazamiento positivo. Las principales desventajas de estos compresores son el elevado costo de mantenimiento en comparación con los compresores centrífugos y la reducción en el desempeño debido a

variaciones en las tolerancias de los tornillos debido a efectos corrosivos de los gases o incrementos elevados en temperatura durante la compresión”. CARNICER (2).

Los más comunes son los compresores de tornillos en los cuales el diámetro de los tornillos es diferente, el tornillo conductor tiene generalmente 4 filetes y el conducido 6 filetes con lo cual la relación entre la longitud de los tornillos y su diámetro esta entre 1.1 y 1.4 y su velocidad tangencial puede ser hasta de 170 m/seg.

Estos compresores de tornillos helicoidales alcanzan caudales de hasta 50000 m<sup>3</sup>/h, se construyen mono etapas y de dos etapas alcanzando presiones de 8 atm, en la mono etapa y hasta 25 atm en de dos etapas, se utilizan a veces como bombas de vacío de hasta 9000 rpm. Estos compresores encuentran cada vez mayor aplicaciones en diferentes aplicaciones técnicas e industriales debido a su gran durabilidad, pequeñas dimensiones relativas, entregan aire suficientemente lubricado y además que el caudal entregado es prácticamente continuo. Como desventaja se puede anotar el nivel de ruido que producen, por lo que en estos compresores también se recomienda el uso de silenciadores tanto en el lado de carga como en el de descarga del gas.

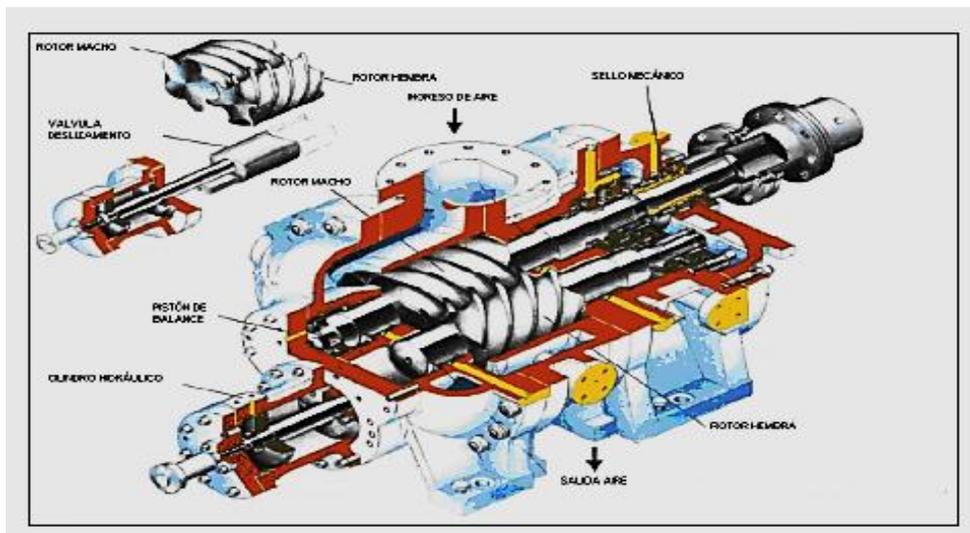


Figura XV. Compresor de tornillo.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 24.

“*compresores de paleta*.- los compresores de paletas están conformados por un rotor excéntrico que gira en el interior de una cámara cilíndrica. El rotor está provisto por un determinado número de paletas que pueden deslizarse en dirección radial dentro de unas ranuras dispuestas en el mismo cilindro. La fuerza centrífuga generada por la rotación del rotor, desplaza las paletas contra las paredes de la cámara debido a la excentricidad del eje del rotor, el volumen de las células varía constantemente. Las ventajas de este tipo de compresores son sus dimensiones reducidas, funcionamiento silencioso y caudal prácticamente uniforme”<sup>1</sup>.

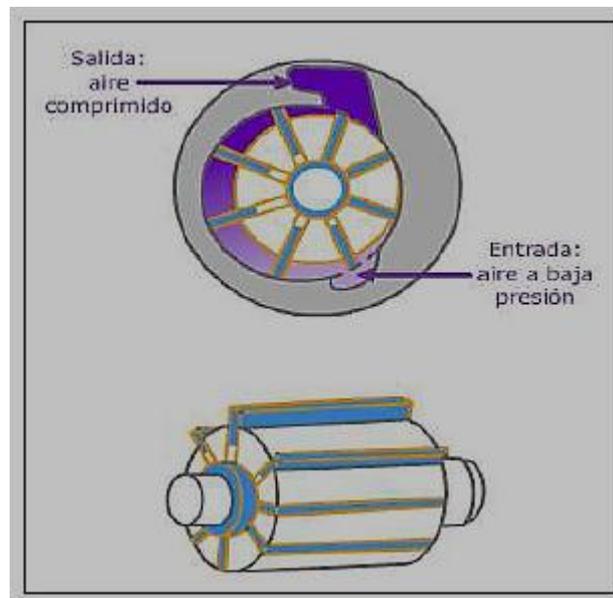


Figura XVI. Compresores de paletas.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 36.

*Compresores de lóbulos*.- en estos tipos de compresores de lóbulos, el aire comprimido es transportado constantemente desde la admisión a la descarga, gracias a la rotación constante de dos lóbulos.

---

<sup>1</sup> Compair, “compresores rotativos de paletas V05-V22”, Compair Leroy R Siebe Group, Sydney USA.

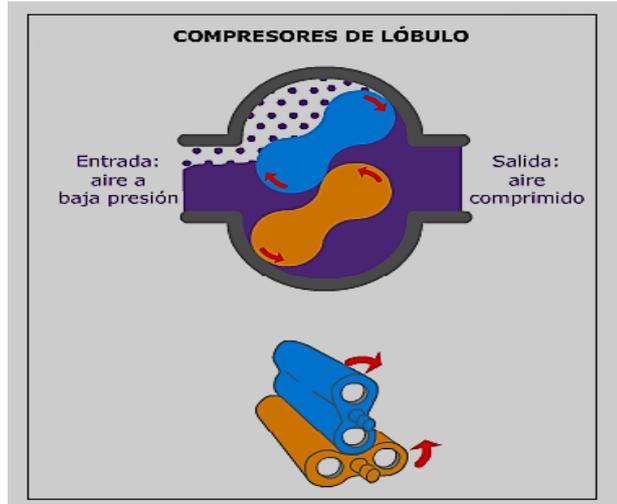


Figura XVII. Compresores de lóbulos.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 25.

La compresión no es debida al cambio de volumen de aire inicial, sino que esta se logra mediante el aumento del número de moléculas de aire presentes en un volumen fijo (tanque pulmón). En general, la presión generada es muy baja, limitando el uso de estos equipos para aplicaciones de baja presión.

#### **2.4.1.2. TURBOCOMPRESOR.**

Aquí priman los principios fundamentales de la dinámica de fluido, y son utilizados para la disposición de grandes caudales. El aire circula por las turbina, generando no así presión por medio del desplazamiento y reducción del volumen sino, por efectos dinámicos del aire.

#### **Dinámicos.**

Los compresores dinámicos son máquinas de flujo continuos, permiten incrementar la presión del flujo de trabajo mediante la transformación de la energía cinética (velocidad) en potencia (presión). El flujo de trabajo que se encuentra a baja presión, entra en un conjunto de alabes móviles del compresor y sale a una gran velocidad como

resultado del trabajo transmitido por un eje. El fluido pasa a un difusor de tal forma que la velocidad disminuye y la presión se incrementa.

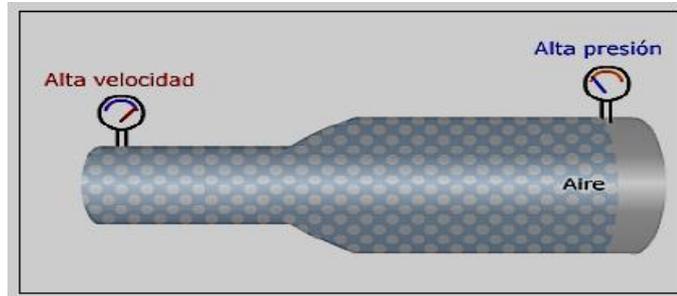


Figura XVIII. Compresores dinámicos.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 26

*Compresores radiales.*- los compresores dinámicos de tipo radial, están conformados por tres partes: rodete, difusor múltiple de distribución. El aire es admitido cerca al eje del compresor, en dirección axial, para ser impulsado en forma radial y a una gran velocidad del rodete, pasa al difusor donde la energía cinética del aire se transforma en energía potencial en forma de presión. Los incrementos de presión ocurren progresivamente en las diferentes etapas de compresión dispuestas a lo largo del estator y el rotor. Los compresores del tipo radial o centrífugo, tienen relativamente pocos problemas de trabajo y presentan valores de disponibilidad altos.

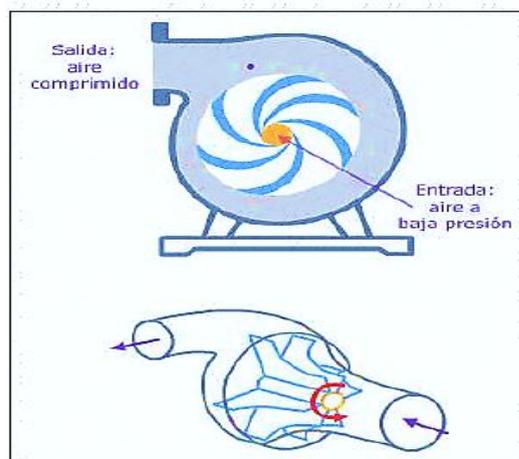


Figura XIX. Compresor radial.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 26.

*Compresor axial.*- En los compresores axiales, el fluido de trabajo es transportado en la dirección del eje durante toda las etapas de compresión, mediante un conjunto de alabes móviles (rotor) y una series de alabes fijos (estator), dando lugar a la compresión multietapa. El contacto del gas de trabajo con los alabes móviles incrementa la energía cinética, que es luego transformada en potencial (presión) en los alabes fijos que actúan como difusores. Los compresores de tipo axial pueden manejar grandes volúmenes de caudal, en carcasas relativamente pequeñas.

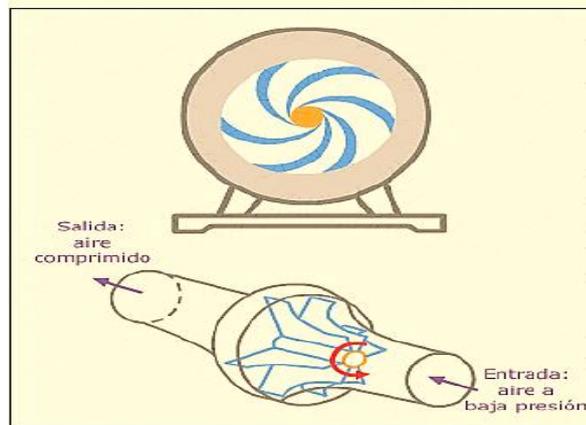


Figura XX. Compresores dinámicos.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 27.

*Compresor eyector.*- Utiliza la energía cinética de un fluido para bombear. Se utiliza para generar presión de vacío o succión en aplicaciones donde se requiera retirar algún gas o humo de un lugar.

## 2.5. PREPARACION DEL AIRE COMPRIMIDO.

La preparación del aire es importante debido a que ayuda a que se mantengan los equipos en buen estado.

Al preparar el aire debemos considerar la eliminación de películas gruesas, el secado y la preparación final del aire.

Debemos considerar los siguientes criterios:

Se debe preparar el aire junto a los equipos que requieren mayor calidad de este por separado.

Utilizar intensificadores de presión descentralizados cuando se necesita diferentes presiones.

El aire debe ser lo más seco y frío posible para disminuir el condensado.

Si existe variaciones de presión se debe instalar pequeños depósitos delante de las unidades de mantenimiento, también se debe poner purgas en las partes más bajas para evacuar el condensado.

## **2.6. CALIDAD DEL AIRE COMPRIMIDO.**

La calidad se requiere en el mismo momento en que se genera el aire comprimido, por esta razón se analizara brevemente su generación.

El aire es una mezcla de gases, principalmente nitrógeno y oxígeno, entre otros. Algunos de los principales contaminantes se encuentran de forma natural suspendidos en el aire, tales como: vapor de agua y partículas sólidas (polvo, arena, hollín y cristales de diferentes sales). Los contaminantes que se encuentran en el aire comprimido y causa trastornos a los circuitos neumáticos y por siguiente a la máquina.

Partículas y vapor de agua, agentes abrasivos tales como los aceites usados en la compresión del aire y oxido que se produce y desprende de la red de aire comprimido. La cantidad de aire comprimido en el punto de consumo (maquina), viene definida por tres parámetros:

*Pureza.*- Referida a la humedad la suciedad por partículas sólidas contenidas en el aire.

*Presión.*- Referida al calor adecuado y constante.

*Lubricación.*- De acuerdo al área de aplicaciones.

La pureza del aire comprimido está influenciada por:

- Calidad del aire de aspiración.
- Filtro de aspiración.
- Tipos de compresor.
- Mantenimiento del compresor.
- Separador de partículas sólidas contenidas.
- Sistema de distribución.

Todo el aire aspirado por el compresor, contiene una cantidad de agua en forma de vapor que depende de la temperatura y la humedad relativa del ambiente.

### **2.6.1. PROCEDIMIENTO DE SECADO DEL AIRE.**

Es importante que el aire se encuentre con la menor cantidad de humedad debido a que al existir humedad producen daños a los equipos, además con grandes cantidades de humedad los equipos neumáticos comienzan a comportarse como unidades hidráulicos.

Mediante el secado del aire evitamos posibles corrosiones de los equipos causados por la humedad. Para saber la humedad de nuestro sistema se toma en cuenta la temperatura, debido a que a mayor temperatura existe mayor cantidad de humedad que circula por nuestro sistema.

Temperatura en °C	-20	-10	0	5	10	15	20	30	50	70	90	100
Contenido máximo de vapor de agua en g/m <sup>3</sup>	0,9	2,2	4,9	6,8	9,4	12,7	17,1	30,1	82,3	196,2	472	588

Tabla V. Cantidad de saturación del aire.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 32.

### TIPOS DE SECADO.

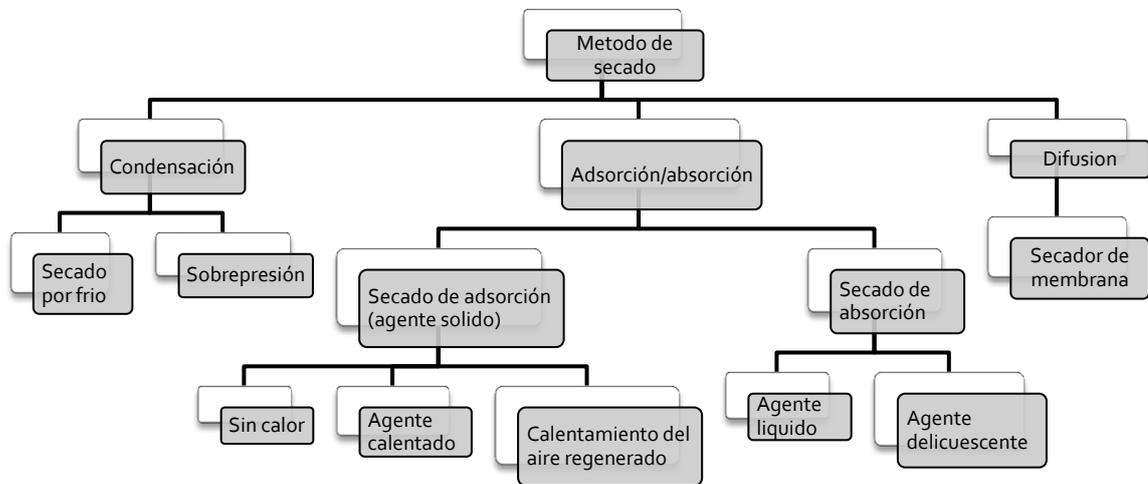


Figura XXI. Método para secar aire.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 32.

#### 2.6.1.1. SECADO POR ABSORCIÓN.

Este tipo de secado consiste en utilizar sustancias químicas para secar el aire. Se suele utilizar una solución salina NaCl (cloruro de sodio), sabiendo que un kilogramo de sal es capaz de retener 13 kg de condensado aproximadamente. Considerando que el punto de condensado es de 15° C, se pueden utilizar otros químicos como; tiza deshidratada, ácido sulfúrico, glicerina.

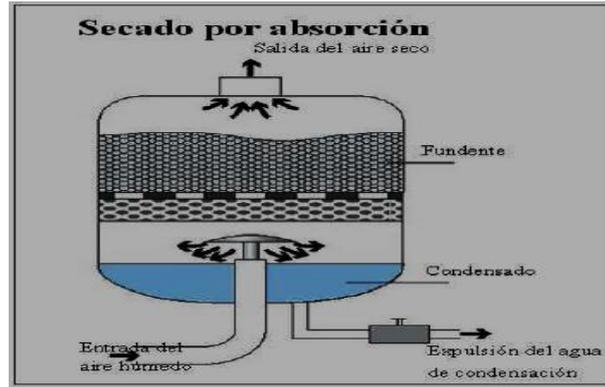


Figura XXII. Secado por absorción.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 31.

En el procedimiento de absorción se distingue: instalación simple, reduciendo el desgaste mecánico, pues el secado no tiene piezas móviles, no necesita de energía exterior.

#### 2.6.1.2. SECADO POR ADSORCION.

Basado en el proceso físico: (adsorber: depósito de sustancias sobre la superficie de cuerpos solidos). Se compone de casi 100 por ciento de dióxido de silicio. En general se le da el nombre de gel. La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad.

La capacidad absorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado. El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica o también con aire comprimido caliente. Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro lo regenera (soplado con aire caliente).

El material que normalmente se utiliza como agente desecante son sustancias como el silicagel y la alumina activada.

El proceso de secado por adsorción se ilustra en la siguiente figura:

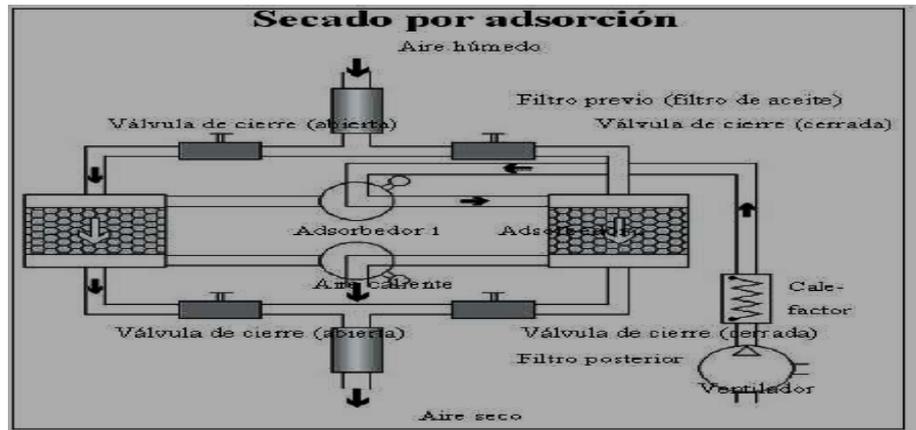


Figura XXIII. Secado del aire por adsorción.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 34.

### 2.6.1.3. SECADO POR REFRIGERACION.

La capacidad del aire para retener el vapor de agua, disminuye con la temperatura, por lo que el método más utilizado para sacar el aire comprimido, es el de instalar un secador por refrigeración.

El aire comprimido se hace circular a través de una serpentina que por disipación transfiere el calor a la atmosfera a esta serpentina también se la conoce como intercambiador de calor aire-aire, sin embargo el punto de condensación no es alcanzado lo suficiente bajo como para secar el aire, por esa razón se coloca una segunda etapa, en la cual por medio de aire frio se hace disminuir la temperatura del aire entre los  $+0.6$  y  $0.3$  °C, esto es con el objeto de que se produzca el punto de rocío sin llegar a la congelación de la humedad. El aire frio de la segunda etapa se genera a través de gas refrigerante.

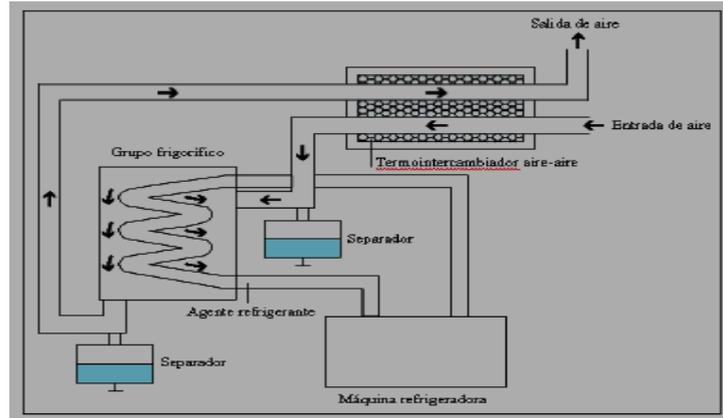


Figura XXIV. Secado del aire por refrigeración.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 33.

El aire saturado de humedad entra (1) en el secador y es dirigido hacia el intercambiador de placa única, siendo enfriado por el aire que vuelve a la línea fría y seca. El intercambiador de calor entre el aire de entrada y de salida reduce la carga en el compresor de refrigeración; ahorrando así costos de energía, posteriormente el aire entrante pasa ahora al intercambiador de calor, donde el fluido refrigerante lo enfría hasta 2°C, se forman gotas de agua que son separadas del aire en el separador de condensado y se recoge en un colector que automáticamente la purga del sistema, luego ya teniendo aire frío y seco, vuelve al intercambiador, enfría al aire nuevo que entra, y sale a la línea de conducción de aire comprimido, terminando el ciclo de secado frigorífico.

#### 2.6.1.4. SECADO DE MEMBRANA.

Está compuesta por una fibra hueca permeable; el secado consiste en la diferencia de presión entre el flujo en sentido contrario del aire seco y el aire húmedo en la fibra hueca. Se crea un balance en ambos lados de la membrana.



Figura XXV. Secador de membrana.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 34.

## 2.6.2. FILTRADO DE AIRE.

Consiste en filtrar el aire de toda impureza y contaminantes que se encuentre en el ambiente.

### 2.6.2.1. FILTROS DE PARTICULAS.

Diseñadas para separar partículas sólidas, receptando las partículas sólidas con materiales filtrantes como: espumas, mallas nylon, papel rejilla metálica, etc. Estos elementos se pueden recargar y tienen un tiempo en el que deben ser recargados porque se saturan y ocasionan pérdidas de presión. Retienen partículas de 40  $\mu\text{m}$  a 5  $\mu\text{m}$  según el tipo de cartucho filtrante Y su filtración.

### 2.6.2.2. FILTRO COALESCENTES

Consiste en una red de fibras, la cual ante el paso del aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras, cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad. Como consecuencia del diseño del filtro puede retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas antes que uno coalescentes y así evitar que este se sature.

### 2.6.2.3. FILTRO DE CARBON ACTIVADO.

“Son filtros diseñados para remover sabores, vapores orgánicos y olores. Estos filtros tienen una unidad filtrante carbón amorfo. El carbón activado tiene una superficie especialmente grande que puede ser desde 500 m<sup>2</sup>/g hasta 1500 m<sup>2</sup>/g. por ello, estos filtros son capaces de retener partículas muy finas. La absorción se produce en las partes especialmente activas de la superficie, en las puntas, esquinas y en las imperfecciones reticulares de las estructuras de carbón.” HESSE, S (7).



Figura XXVI. Tipos de filtros.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 35.

Clase	Tamaño de partículas.	Punto de rocío en °C	Máximo contenido aceite mg/m <sup>3</sup>
1	0,1	-70	0,01
2	1	-40	0,1
3	5	-20	1
4	15	+3	5
5	40	+7	25
6	-	+10	-

Tabla VI. La norma ISO para los filtros.

Fuente: <http://www.cnsec66.com/en/public/uploads/files/2013/05/20130507110945185.pdf>. Pag 5.

Aire comprimido requerido:

Aplicaciones	Clase		
	Solidos	Agua	Aceite
Minas	5	7	5
Limpieza	5	6	4
Máquinas de soldado	5	6	5
Máquinas y herramientas	5	4	5
Cilindros neumáticos	3	4	5
Empaquetado	5	4	3
Censado	2	2-3	2
Industria alimenticia	2	4	1
Proceso de fotografía	1	2	1

Tabla VII. Calidad de aire comprimido.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 37.

### 2.6.3. LUBRICACION DEL AIRE COMPRIMIDO.

Debe de observarse que la presencia de aceite en el aire comprimido, luego de salir de un compresor lubricado, tiene solamente un valor limitado como lubricante, ya que este se ha visto sometido a elevadas temperaturas dentro de la unidad compresora, de tal manera, que este aceite se comporta más como abrasivo que como elemento de protección, por lo que no es conveniente en el aire comprimido por lo tanto es necesario eliminarlo.

El aceite que se aplica en los lubricadores después de la unidad de filtrado y de regulación es de características de viscosidad especiales, además de estar limpio por lo que si cumple con los requerimientos antes señalados. Los lubricantes pueden utilizarse con capacidades que oscilan entre 0.12 y 420 litros por segundo.

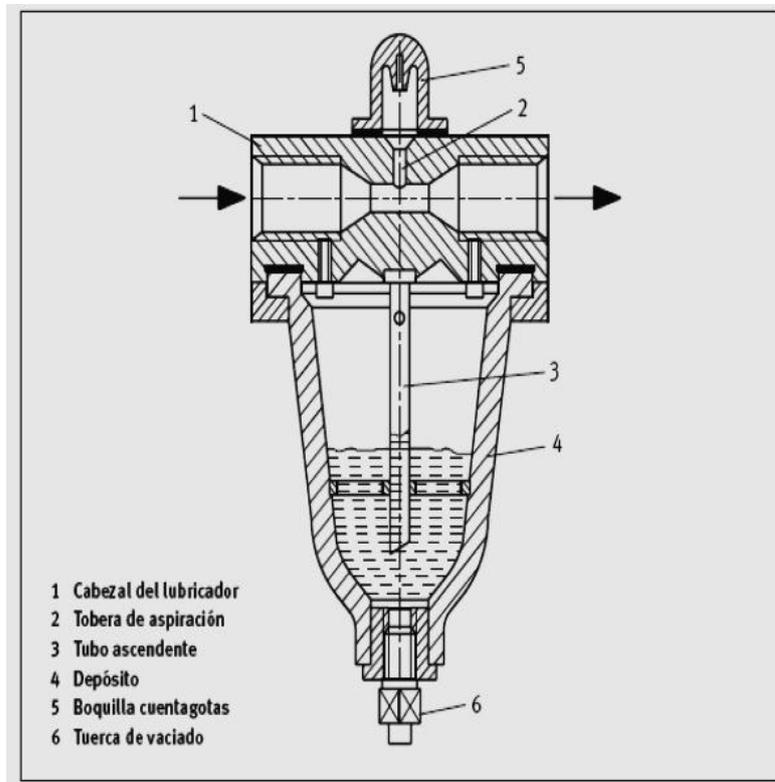


Figura XXVII. Lubricador de aire comprimido.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 45.

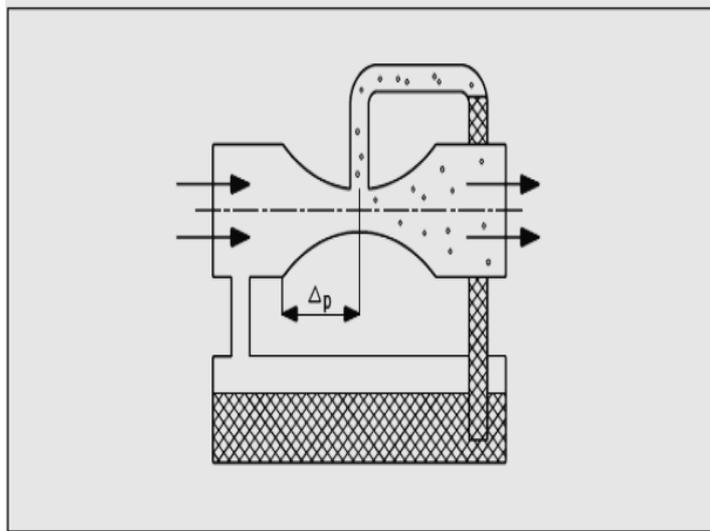


Figura XXVIII. Principio de venturi.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 46.

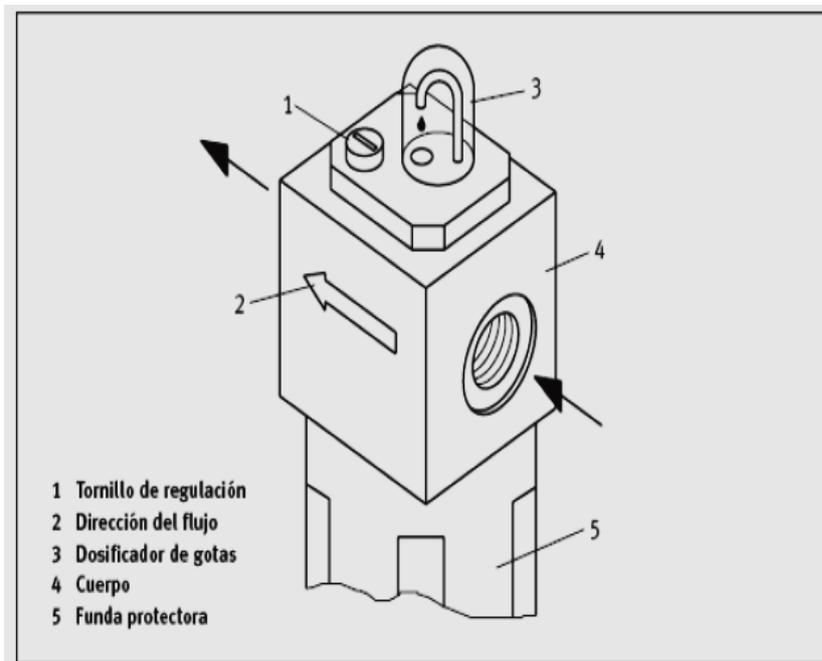


Figura XXIX. Lubricador de niebla de aceite.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 47.

#### 2.6.4. UNIDADES DE MANTENIMIENTO.

Preparan el aire para las unidades consumidoras. Los reguladores mantienen la presión, aunque varíe el consumo.

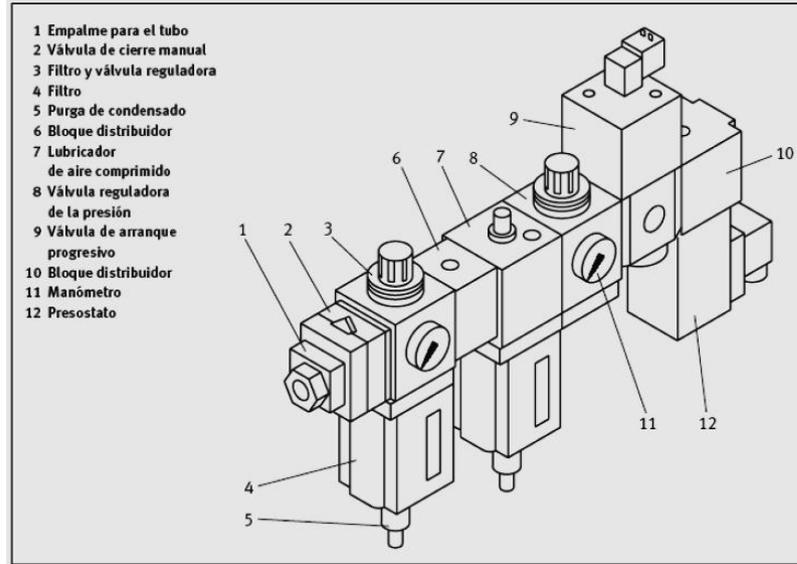


Figura XXX. Componentes principales de la unidad de mantenimiento.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 51.

## CAPITULO III: INSTALACIONES NEUMATICAS

### COMPONENTES.

#### 3.1. DESCRIPCION DE UNA RED.

La configuración de la red neumática de satisfacer la demanda del hasta el punto más lejano de la red. Por lo tanto debe mantener la presión desde la salida del compresor hasta el punto más lejano de la red

#### 3.1.1. DISPOSITIVOS DE RED.

Los componentes con que cuenta una red neumática son:

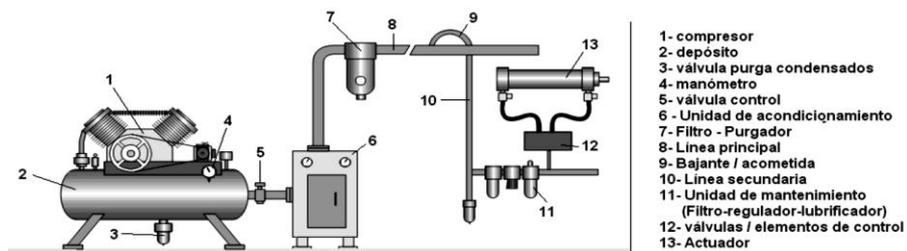


Figura XXXI. Componentes de una red neumática.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 17.

**Filtro del compresor.-** Es un filtro de seguridad que tiene la función de proteger el compresor de impurezas del aire que ingresa a la unidad compresora.

**Compresor.-** Es el encargado de comprimir el aire para luego ser utilizado como energía neumática.

**Postenfriador.-** No es más que un intercambiador de calor, en que el elemento que el aire comprimido pierde calor, enfriando con algún refrigerante, usualmente aire agua.

Con este equipo lo que logramos es hacer que se enfríe el aire comprimido para que el condensado que se produce en la compresión baje.

**Postenfriador aire-aire.-** comúnmente utilizado en lugares donde el ambiente es altamente contaminado, tomando en cuenta este tipo de equipos podemos decir que el mantenimiento aumenta los costos.

**Postenfriador aire- agua.-** Tiene alta eficiencia, menor necesidad de espacio y mayor costo de operación por el fluido de trabajo y la instalación.

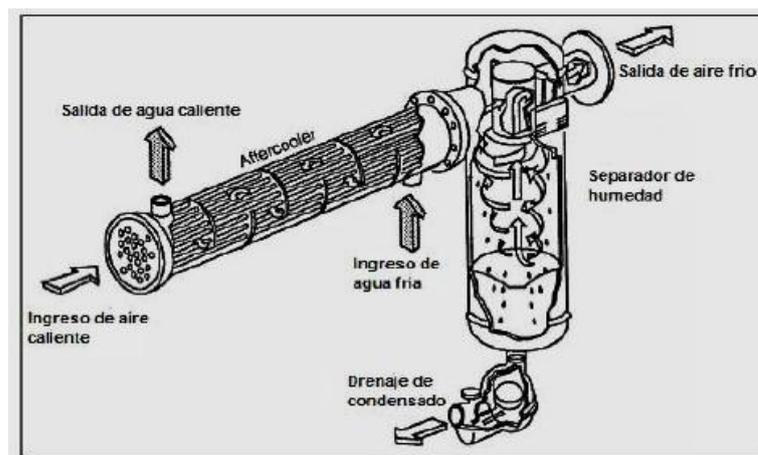


Figura XXXII. Postenfriador aire agua.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 43.

**Tanque de almacenamiento.-** Almacena energía neumática y equilibra la pulsaciones del aire procedente del compresor, a la vez que suministra una superficie grande de

intercambio de calor que permite disminuir parcialmente la alta temperatura del aire luego de la compresión. Los tanques o pulmones tienen como función principal regular el caudal, evitar cambios bruscos en la presión, humedad y asentamiento de partículas.

**Filtros de línea.-** Sirven para purificar el aire hasta la cantidad deseada, de acuerdo al promedio de dispositivos de la red.

**Secadores.-** Sirve para secar el aire comprimido, son utilizados en casos especiales donde el aire tiene que ser secado.



Figura XXXIII. Secador de aire.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 94.

**Equipos adicionales.-** Dispositivos con sus secadores adicionales, purgas y unidades de mantenimiento (reguladores de presión, filtros y lubricador).



Figura XXXIV. Equipos adicionales para el sistema de aire comprimido.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 44.

Equipo adicional: (1) Válvula de alivio, (2) Medidor de presión, (3) Unidad de mantenimiento de aire, (4) Separador de impurezas, (5) Unidad de lubricación, (6) Regulador de presión de la línea de tubería.

### 3.1.2. TUBERIA PRINCIPAL.

Es la que distribuye toda la red, posee un mayor diámetro debido a que es la que es la que se encarga de distribuir todo el aire.

### 3.1.3. TUBERIA SECUNDARIA.

Es la encargada de llevar el suministro de aire desde la tubería principal, hasta las zonas de trabajo que luego serán conectadas a las tuberías de servicio para que suministren de aire a los equipos.

### 3.1.4. TUBERIA DE SERVICIO.

Son las que surten en si a los equipos neumáticos. Poseen conectores rápidos en donde se ubican las unidades de mantenimiento. El número máximo de equipo que soporta una tubería de servicio es de tres. Los diámetros permitidos en una red de servicio son desde 1/2' para adelante. Las pérdidas son bajas debido a que los segmentos son cortos, entonces la velocidad del aire en las tuberías de servicio llegaría hasta 15 ms.

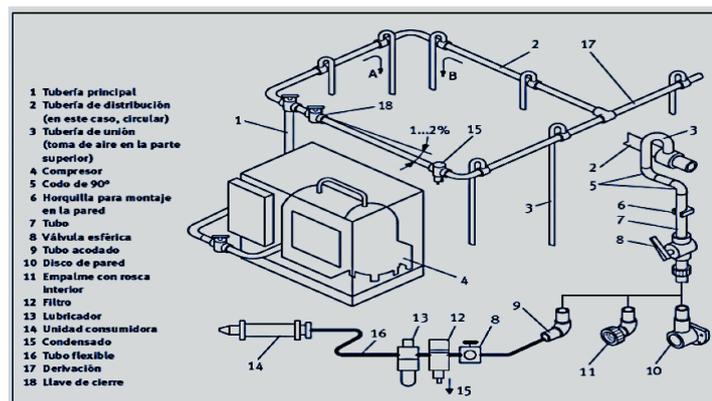


Figura XXXV. Ejemplo de una red y sus accesorios.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 61.

Las redes pueden ser armadas con tubos de material sintético y/o metal una elección errada en los materiales, el diámetro y la disposición de las tuberías provoca restricciones de flujo lo cual suele ocasionar una significativa pérdida de presión.

Esta última eleva en el consumo y afecta el desempeño de los componentes y las herramientas de acondicionamiento neumático.

La selección de la tubería afecta directamente los costos de instalación. Los materiales de mayor peso aumenta la fatiga y retrasa el trabajo, especialmente en instalaciones que presentan sobrecalentamiento, esto sin contar los tipos de acoples que han de emplearse.

Material	Ventajas	Desventajas
<b>Hierro negro</b>	Costo moderado. Disponibile en varios tamaños.	Instalación dispendiosa. Se oxida y presenta fugas.
<b>Hierro galvanizado</b>	Materiales de costo moderado. Disponibile en varios tamaños. En ocasiones anticorrosivo.	Instalación dispendiosa. Se oxida en uniones y presenta fugas. Aspereza interior ocasiona sedimentación y caída de presión Solo la superficie externa suele estar protegida.
<b>Cobre</b>	No se oxida, buena calidad de aire. Uniformidad de la superficie interior reduce la caída de la presión.	Debe soldarse muy bien para evitar fugas. Susceptible a ciclos térmicos. Su instalación exige uso de soplete.
<b>Aluminio</b>	No se oxida, buena calidad de aire. Uniformidad de la superficie interior reduce la caída de la presión.	Instalación dispendiosa. Materiales costosos.

Tabla VIII. Ventajas y desventajas de los materiales empleados en tuberías de aire comprimido.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 46.

### 3.1.5. VALVULAS Y ACCESORIOS DE LA RED.

#### Válvulas y conexiones.

Son utilizados para controlar y regular el flujo, las purgas son colocadas en las zonas más bajas para evitar que arrastre el condensado.

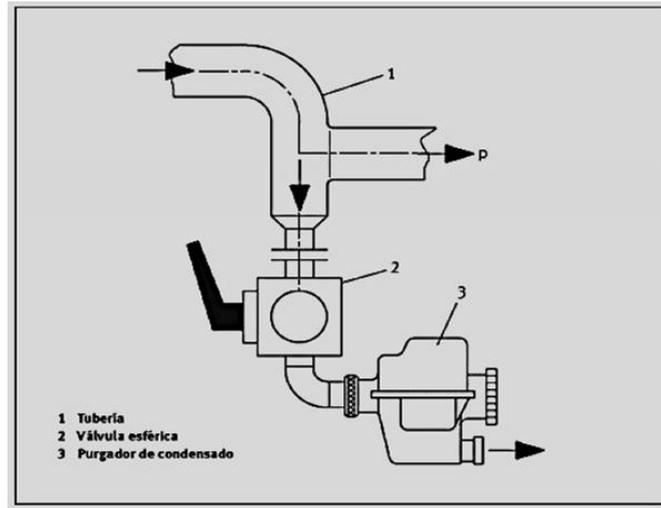


Figura XXXVI. Purga de condensado.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 62.

### Válvula de drenaje automático.

Colocadas en sitios donde se acumule el condensado, por ejemplo piernas de drenaje, separadores centrífugos, tanque filtros, etc. Consiste en abrirse en un determinado tiempo para eliminar el condensado de la red.



Figura XXXVII. Válvulas de drenaje automático.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 47.

### Válvula de drenaje automático de flotador.

Posee en la base un flotador de forma esférica. Cuando se acumula el condensado el flotador es desplazado hacia arriba, provocando el accionamiento de una válvula mecánica que hace salir el condensado; una vez que el condensado ha salido el flotador baja y se cierra la válvula.

### **Válvulas de drenaje automático electrónico.**

Este tipo de válvulas opera mediante un solenoide, la cual es controlada por un temporizador que determina exactamente los intervalos de apertura y la duración de los mismos.

### **Codos.**

Son accesorios de forma curva que se utilizan para cambiar la dirección del flujo de las líneas, tanto grados como lo especifiquen los planos o dibujos de tuberías.

Tipos:

- ❖ Codos estándar de 45°
- ❖ Codos estándar de 90°
- ❖ Codo estándar de 180°

### **Tee.**

Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, diámetros y cédulas; se utiliza para efectuar acoplamientos en líneas de tuberías.

Tipos

- ❖ Diámetros iguales o te de recta.
- ❖ Reductora con dos orificios de igual diámetro y uno desigual.

El espesor es un factor que depende del tubo o accesorios a la cual va instalada y ellos existen desde el espesor fabricación hasta el doble extra pesado.

Para instalar las tee en líneas de tuberías se puede hacer, mediante procedimiento de rosca o soldable a tope.

### **Reducciones.**

Son accesorios de forma cónica, fabricadas de diversos materiales y aleaciones. Se utilizan para disminuir el volumen del fluido a través de las líneas de tuberías.

Tipos.

Estándar concéntricas. Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido aumentando su velocidad, manteniendo su eje.

Estándar excéntrica. Es un accesorio reductor que se utiliza para disminuir el caudal del fluido en la línea aumentando su velocidad perdiendo su eje.

El espesor representa el grosor de las paredes de la reducción va a depender de los tubos o accesorios a la cual va ser instalada.

### **Tapones.**

Son accesorios utilizados para bloquear o impedir el pase o salida de fluidos en un momento determinado. Mayormente son utilizados en líneas de diámetros menores. Según su forma de instalación pueden ser macho y hembra.

### **Uniones.**

Son accesorios utilizados para unir dos tuberías a través de sus extremos, su función es proporcionar uniones perfectas, las cuales pueden ir soldados o roscados en su parte interior permitiendo la circulación del fluido a otros puntos de consumo.

Tipos de racores:

- ❖ Racores recto
- ❖ Racores angulares
- ❖ Racores en T

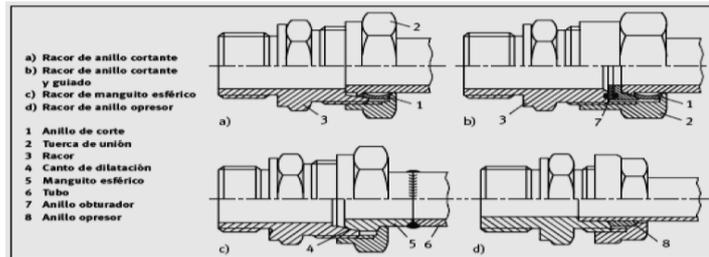


Figura XXXVIII. Racores para tubos de acero.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 81.

### Unión por brida.

Están clasificadas por presión nominal (PN) y diámetro nominal (DN). Deben tener la misma presión y diámetro nominal.

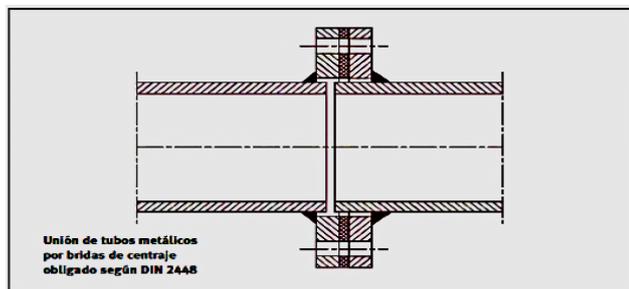


Figura XXXIX. Uniones de tubos por bridas.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 82.

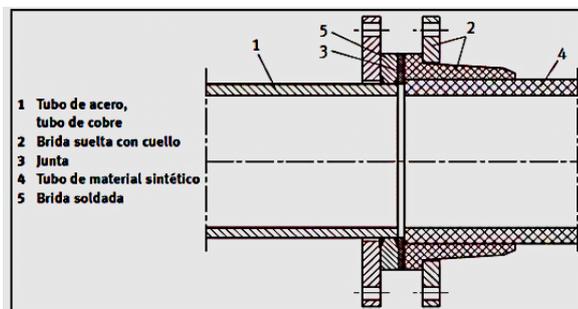


Figura XL. Unión por brida metálica con tubos de material sintético.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 83.

### “Racores con casquillos de sujeción.

Estos racores se utilizan para el montaje en sentido radial. Utilizando tuercas de unión más largas Se muestra un ejemplo, aunque hay numerosas funciones de aplicaciones de control y regulación, especialmente en la neumática de alta presión.” HESSE, S (7).

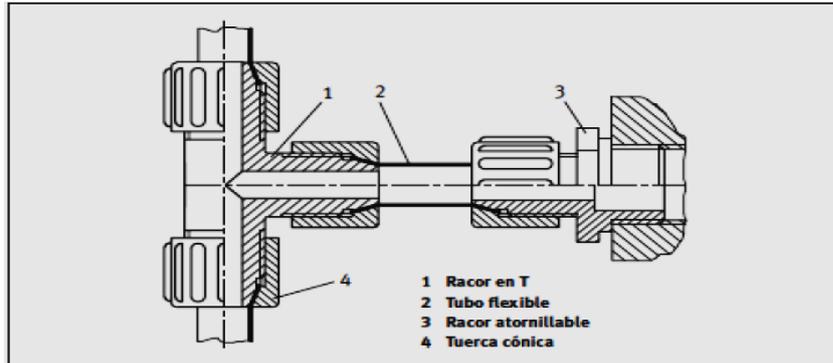


Figura XLI. Racores de material sintético.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 84.

### “Racores rápidos para tubos flexibles.

El tubo está taladrado en la parte superior y no tiene rebabas. A continuación, la brida se ajusta mediante tornillos. El diseño de este racor es de cuello de cisne para retener el condensado, este tipo de racores es apropiado especialmente si es necesario montar una red de aire comprimido sin saber aun definitivamente en qué lugar se encontrarán las unidades consumidoras.” HESSE, S (7).

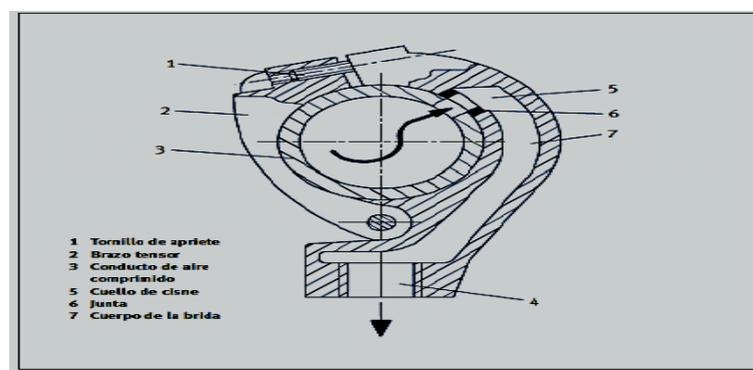


Figura XLII. Racor rápido (legris).

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002. Pag 85.

“Los sistemas de acoplamiento de tubos flexibles se utilizan en redes neumáticas en las que es necesario conectar y desconectar esporádicamente un sistema para transportar el aire comprimido. En la Figura XLIII. Se muestran algunos tipos de acoplamientos.”

HESSE, S (7).

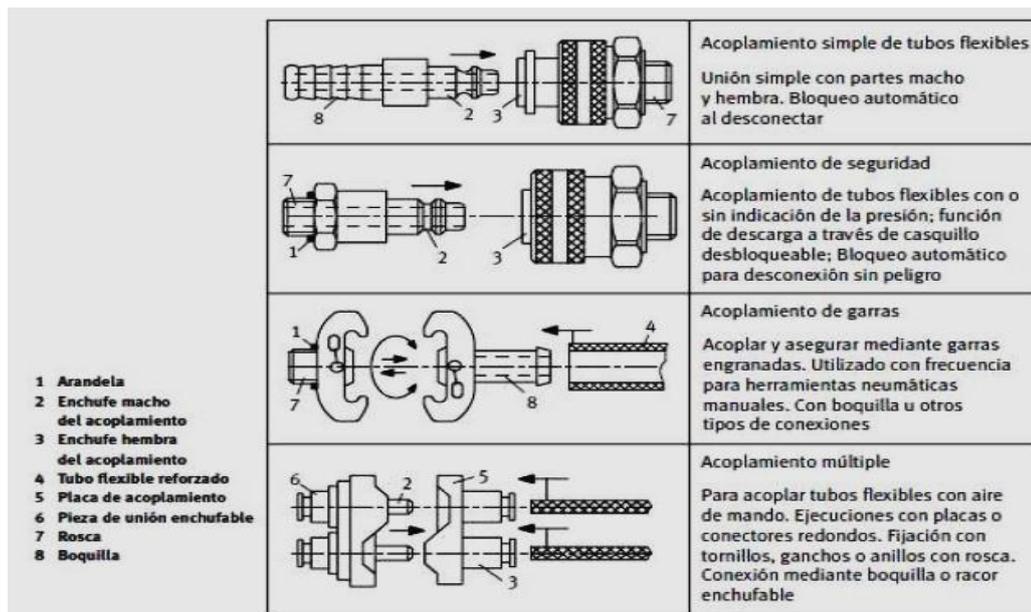


Figura XLIII. Acoplamiento de tubos flexibles.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 53.

### 3.2. RED AIRE COMPRIMIDO.

Mediante un análisis de las características técnicas de las maquinas que intervienen en el proceso productivo de la empresa, se debe identificar que la maquina consumen aire comprimido y a qué área pertenecen dentro de layout de la empresa que es el levantamiento u obtención de un plano de la planta, donde claramente se ubiquen los puntos de demanda de aire, anotando su consumo y presión requerida.

#### 3.2.1. CONFIGURACION (TIPOS DE RED)

Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido:

Red abierta: Está constituida por una línea que recorre toda la red y de la cual se desprende las tuberías de servicio como se muestra en la Figura. Se puede evacuar el condensado aplicando una inclinación, además hay que considerar que el costo de esta red es bajo. El mantenimiento de este tipo de red representa una desventaja. Para la reparación se debe cortar el suministro de aire produciendo una para de producción.

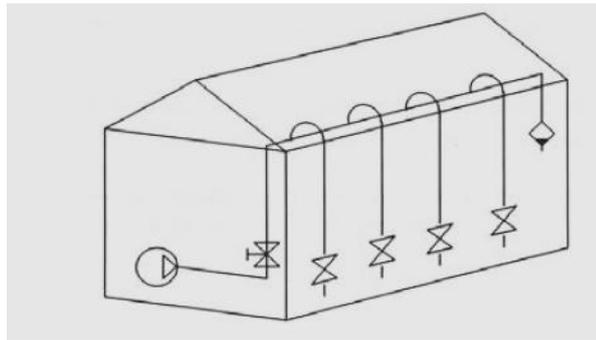


Figura XLIV. Diseño de una red abierta.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 29.

Red cerrada: Configuración en anillo. La inversión en este tipo de red es mayor que la red abierta. Es fácil realizar las tareas de mantenimiento debido a que no es necesario quitar todo el suministro de aire a la red.

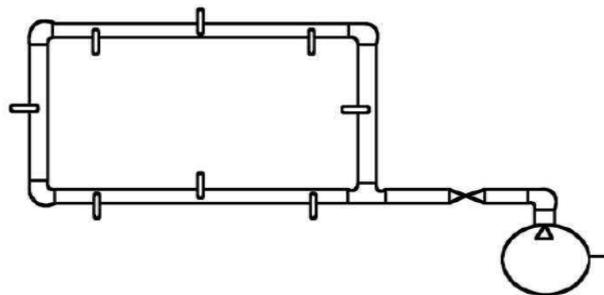


Figura XLV. Diseño de una red cerrada.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 29.

Al no tener un flujo constante representa una desventaja importante, el flujo depende de las demandas de los puntos de consumo, lo que provoca que la dirección del flujo dependa del consumo.

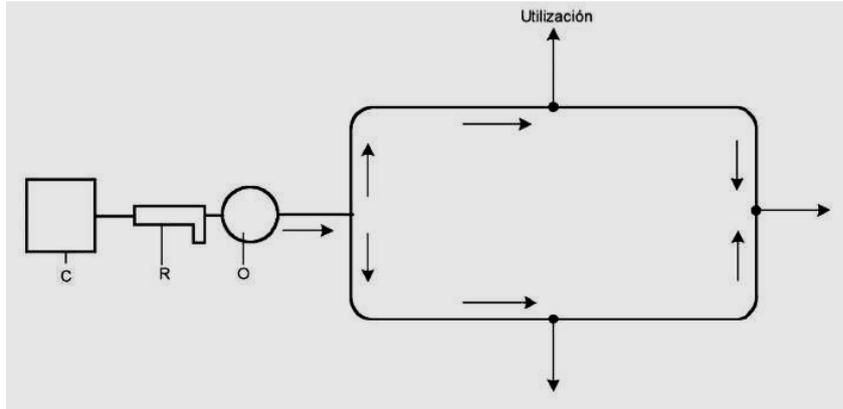


Figura XLVI. Dirección del flujo de una red cerrada para una demanda característica.  
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 30.

Red interconectada: Se diferencia de la red cerrada debido a que tiene implementado bypass en las líneas principales. Con este sistema el mantenimiento se facilita, sin embargo, requiere una inversión inicial más alta. Este tipo de instalación presenta los mismos problemas que una red cerrada.

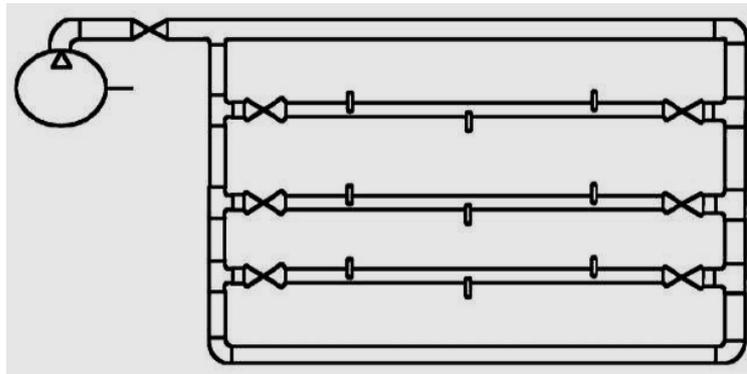


Figura XLVII. Diseño de una red interconectada.  
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>. Pag 30.

### 3.2.2. PARAMETROS.

Al iniciar el proceso de diseño de una instalación de aire comprimido se deben investigar todas las aplicaciones que se usaran y su ubicación en la planta.

Presión: Es la presión en la que se va a trabajar (presión de trabajo usuales 6 y 7 bar).

Caudal: Es diseñado tomando en cuenta la demanda, conociendo primero el consumo de la red.

Perdida de presión: Los cambios de sección, codos, unidades de mantenimiento, tee y otras generan pérdidas de presión. Se debe tomar en cuenta las pérdidas que se muestran en la siguiente tabla:

<b>Post enfriador de agua</b>	<b>0.09 bar</b>
<b>Post enfriador de aire</b>	0.09 bar
<b>Secador frigorífico</b>	0.20 bar
<b>Secador absorción</b>	0.30 bar
<b>Separadores cerámicos</b>	0.10 bar
<b>Red de tuberías</b>	0.14 bar
<b>Filtros en general</b>	0.15 bar

**Tabla IX. Equipos y sus pérdidas.**

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 57.

Velocidad de circulación: Es un dato importante a considerar para no producir pérdidas.

### **3.2.3. TUBERIA.**

Son las canalizaciones que conducen el fluido comprimido, en ellas se produce la mayor pérdida de presión debido a su rugosidad y diámetro asociado, y por consiguiente antes de tomar una decisión, se deberá investigar con detalle cada una de las aplicaciones en el centro de la fabricación, para así, proporcionar una fuente respaldada a la exactitud de los cálculos y determinar con propiedad los diámetros de la tubería más convenientes, ya que no debemos olvidar que la pérdida de presión, para un caudal de aire prefijado es inversamente proporcional a la quinta potencia del diámetro.

### **3.2.3.1. RIESGO EN LAS LINEAS DE CONEXION.**

Un mal diseño del sistema y el tamaño inadecuado puede ocasionar no disponer en los puntos de aplicación de aire comprimido con las características que se requieren en el uso a que se destina y que ocasionara un mal funcionamiento puede ocasionar el problema, además de constituir un riesgo para el personal dedicado al mantenimiento.

- ❖ Una importancia particular presentan los riesgos debidos al mal alineamiento, mala sujeción y dilataciones de las tuberías, que se traducen en esfuerzos localizados y/o cilíndricos en las uniones a los recipientes. Estos esfuerzos pueden ocasionar fatiga en los materiales constituyentes con la consiguiente disminución de sus características y por tanto el consiguiente riesgo de explosión.
- ❖ La falta o ruptura del aislamiento en conducciones, válvulas, etc., Puede ser causa de sobrepresiones debidas a la acción climática.
- ❖ Los componentes no metálicos, empleados en filtros, trampas de vapor, separadores, engrasadores, etc., pueden perder sus características de resistencia debido a la acción de contaminantes presentes en el aire comprimido, con el consiguiente riesgo de ruptura.

### **3.2.3.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD Y MEDIDAS PREVENTIVAS.**

- ❖ Las líneas de conducción serán diseñadas adecuadamente y de una forma genérica se asegurara que la pérdida de carga entre el acumulador de aire comprimido y la toma más lejana, no sobrepasa el 5% de la presión requerida, con un máximo de 0.3 bar.

- ❖ El diámetro de la conducción principal no será inferior al diámetro de tubería de salida del compresor.
- ❖ El propio recorrido de la línea no será peligroso en sí, evitándose aquellas zonas donde existiese el peligro de acciones mecánicas.
- ❖ Las líneas de conducción se montaran con una ligera inclinación en la dirección de flujo, y se dispondrán válvulas de drenaje en sus puntos más bajos de modo que se descarga sea segura. En los tramos en los que las tuberías transcurran verticalmente, el drenaje se situara en el punto más bajo.
- ❖ Las tuberías se sujetaran adecuadamente y a intervalos regulares, de tal forma que el desmontaje de parte de ella no afecte a la estabilidad del resto.
- ❖ Para prevenir las dilataciones, particularmente en el tramo comprendido entre compresor y acumulador de aire comprimido, y en las partes que puedan estar expuestas a la acción solar, se pondrán elementos tales como libras de dilatación, juntas de dilatación, tuberías flexibles, etc.

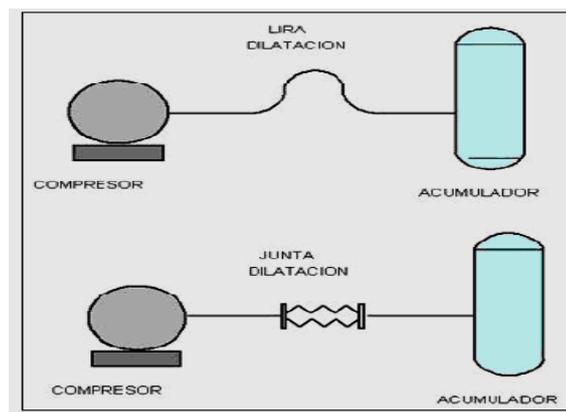


Figura XLVIII. Prevención de dilatación de la tubería.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 59.

- ❖ Las tuberías que conectan el compresor y el acumulador de aire comprimido serán de fácil limpieza, con objeto de eliminar las partículas carbonosas, que

procedentes del aceite usado en la lubricación del compresor, puedan depositarse. Como elemento de seguridad dispondrán de un tapón fusible.

- ❖ Las salidas de líneas para toma de conexiones, a las que se tenga acceso, se efectuarán desde la parte superior de la línea de la que parten y estará dotada de una válvula de seccionamiento y una válvula de drenaje, que será manual cuando así lo requiera.

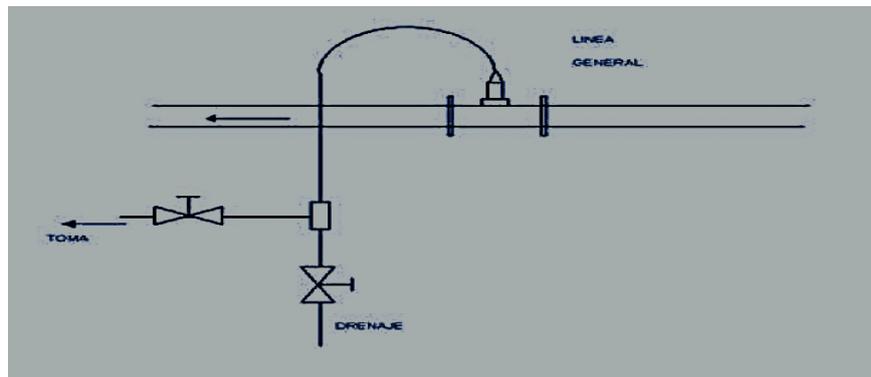


Figura XLIX. Línea de toma de aire.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 60.

- ❖ En cuanto a las conexiones propiamente dichas o puntos de toma, se dispondrán horizontalmente o hacia abajo. La conexión hacia arriba es causa de acumulación de suciedad y trae consigo la mala práctica de soplado antes de uso.
- ❖ La toma de conexión se situarán en lugar adecuado para el trabajo a realizar con el aire comprimido, de tal forma que las mangueras conectadas no obstruyan o impidan el normal acceso al puesto de trabajo y puedan ser conectadas sin necesidad de subirse.
- ❖ Las tuberías se identifican con el color adecuado y cuando exista peligro de conexión a las líneas distintas a las de suministro de aire, la conexión se efectuara mediante elementos no intercambiables.

- ❖ Se dispondrá de válvulas de bloqueo suficientes y situadas en lugares adecuados, para que las líneas de conexión de trabajo con aire comprimido se puedan aislar de la red de aire. Todas las líneas secundarias del sistema dispondrá de válvulas de cierre para aislarlas, disponiéndose en su caso dispositivos de seguridad que las mantengan en posición cerrada.
- ❖ En numerosas ocasiones es necesario disponer de un aire comprimido limpio, empleándose para ello filtros y trampas, así como lubricadores para las máquinas que utilizan el aire comprimido; estos elementos se instalarán detrás de la correspondiente válvula de cierre, en el sentido del flujo, siendo los engrasadores los últimos en la ubicación.
- ❖ La limpieza de elementos no metálicos, constituyentes de filtros, trampas, etc., solo se efectuara con trapos completamente limpios y libres de cualquier producto, con objeto de que no se vea atacado el material que lo constituyen.
- ❖ Dado que en ocasiones es necesario proteger a los equipos de la sobrepresión o cuando se trabaja con equipos que necesitan una presión inferior a la suministrada por la línea, se dispondrán reguladores de presión en los que se indicaran expresamente la presión de salida mediante manómetro. Si fuese de tipo “regulable”, y según sea el riesgo que la sobrepresión pudiera ocasionar, contarán con la adecuada protección frente al manejo inadecuado.
- ❖ Se debe instalar una válvula de seguridad tarada a una presión tal que impida excederse la presión del equipo. Se debe colocar de forma que en su descarga se minimice el riesgo a los trabajadores en el entorno.

### 3.2.4. INCLINACION.

Tanto el dimensionamiento como el tendido de la red son parte importante; otras de las ventajas es que en la red puede implementarse inclinaciones en sentido del aire del 1 al 2% para evacuación de condensados, instalando al final de la línea una válvula de purga.

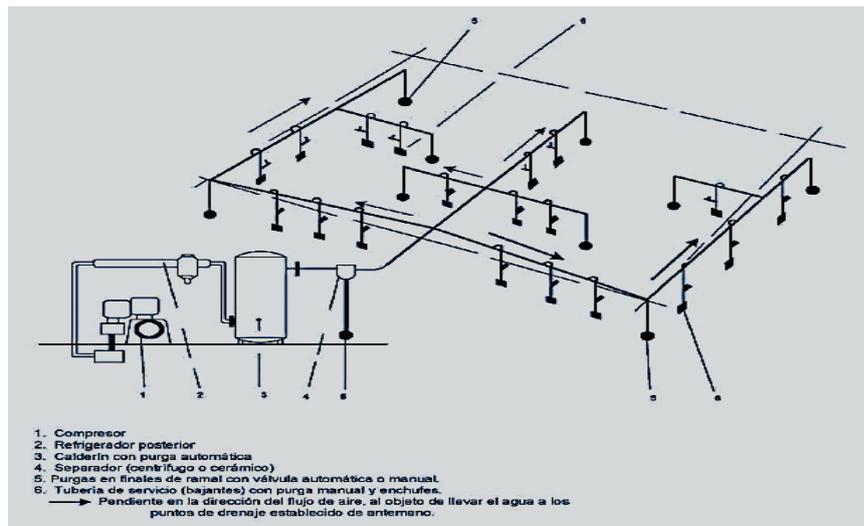


Figura L. Configuración abierta y su inclinación.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG & Co., 2002. Pag 63.

### 3.3. DEPOSITO DE AIRE COMPRIMIDO.

El depósito consta de las siguientes funciones:

- Acumular energía en forma de aire comprimido.
- Enfriar el aire comprimido y disminuir velocidad haciendo posible separar el aceite proveniente del compresor y el condensado.
- Amortiguar los pulsos de presión para hacer posible el flujo continuo.
- Para regular la compresión, compensando el consumo con el caudal generado, los cuales trabajan en régimen diferentes.

### **3.3.1. RIESGO DE LOS DEPOSITOS DE AIRE COMPRIDO.**

El principal riesgo que presentan, al estar sometidos a presión interna, es el de explosión, que puede venir determinada por alguna de las siguientes causas:

- ❖ Defectos de diseño del aparato.
- ❖ Defectos en la fase de construcción y montaje, en las cuales se tendrán muy en cuenta el proceso de soldadura de fondos, refuerzos, etc., y los efectos que el calor aportado por ella puede tener sobre las características de los materiales.
- ❖ Sobrepresión en el aparato por fallo de los sistemas de seguridad.
- ❖ Sobrepresión por presencia de fuego exterior.
- ❖ Sobrepresión y riesgo de explosión por auto ignición de depósitos carbonosos procedentes del aceite de lubricación del compresor.
- ❖ Disminución de espesores de sus materiales, por debajo de los límites aceptables por diseño, debido a la corrosión.
- ❖ Erosiones o golpes externos.
- ❖ Fisuras debido a las vibraciones transmitidas por compresores instalados sobre los propios.
- ❖ Esfuerzos locales en la zona de conexión de la tubería de aire comprimido proveniente del compresor, debido al mal alineamiento, dilataciones y presión interna de la tubería.
- ❖ Fatiga de materiales debido a trabajo cíclico.

### **3.3.2. ELEMENTOS DE SEGURIDAD.**

Estos aparatos cuyo diseño y construcción deberán seguir todos los pasos establecidos en el código de diseño elegido referente a materiales, espesores de los mismos, procesos

de soldadura, tratamientos térmicos, ensayos no destructivos, etc., deberán contar con un certificado de calidad que asegure que los anteriores pasos han sido seguidos cuando se trate de un aparato construido en serie, cuyas prescripciones son obligatorias en la mayor parte de los casos a tener de la legislación vigente.

Independiente de ello, deberán contar con los siguientes elementos de seguridad:

- ❖ La regulación de las válvulas de seguridad no debe pasar el 10% superior a la presión de trabajo permitiendo descargar el total del caudal que genera el compresor. Contará además con un depósito de accionamiento para poder probar el funcionamiento.
- ❖ Presostato para producir el arranque del compresor cuando la presión interior baje de un determinado valor y para producir la parada del compresor cuando la presión interior suba por encima de un determinado valor.



Figura LI. Accesorios del acumulador.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. Pag 64.

- ❖ Indicador de presión interna.
- ❖ Sistemas de drenaje manual o automático; en el caso de drenaje manual, las válvulas serán de paso recto y total, con el objeto de minimizar los residuos que pueden quedar retenidos y llegar a inutilizar la válvula de drenaje. En el caso de drenaje automático, tendrán la capacidad de descarga según la cantidad de

líquido a eliminar, estando diseñadas para minimizar los residuos retenidos así como contar con un dispositivo manual para su comprobación.

- ❖ La disposición de un filtro inmediatamente antes de la válvula ayuda eficazmente a eliminar la presencia de residuos en las mismas.
- ❖ Contaran con las aperturas adecuadas para su inspección y mantenimiento.
- ❖ Todos los elementos de seguridad serán fácilmente accesibles.
- ❖ La ubicación del depósito debe de ser en un ambiente fresco y seco, cerca del compresor y fuera de la instalación para poder disipar el calor producido, además debe permanecer fijado al piso para evitar las vibraciones.
- ❖ Contaran con las siguientes placas de identificación, situadas de forma bien visible:

*Placa de diseño.*- En la que figurara la presión de diseño y en su caso la máxima de servicio, el número de registro del aparato y la fecha de primera prueba y revisión.

*Placa de identificación.*- En la que constara entre otros datos, el nombre y razón social del fabricante, contraseña y fecha de registro, si procede, numero de fabricación, características principales.

## **CAPITULO IV: CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE, Y REDES DE DISTRIBUCION DE AIRE COMPRIMIDO.**

Existen pasos para el diseño de redes neumáticas. Estas son las siguientes:

1. Conocer e identificar todos los equipos que utilizan aire comprimido. esta correspondería al consumo total.
2. Conocer el consumo requerido por cada uno de los equipos.
3. Determinar la presión requerida en los puntos de consumo.
4. Considerar el máximo nivel de humedad, de contenido en aceite y de partículas que pueden admitir cada elemento.
5. Determinar el tiempo que están activos los equipos, para conocer el tiempo de funcionamiento.
6. Reconocer cuantos puntos de consumo funcionan al mismo tiempo.
7. Estimar un número permisible de fugas.
8. Realizar una distribución de planta preliminar (preliminar *piping*) y asignar caídas de presión.

9. Seleccionar los equipos de acondicionamiento y el compresor.
10. Ejecutar el piping final y el tamaño de la red.
11. Calcular los costos, seleccionar los proveedores; y realizar la puesta en marcha y pruebas de funcionamiento.

Para poder realizar el dimensionado correcto de una instalación, en los siguientes apartados veremos la manera de calcular cada uno de los elementos principales de la instalación. Se seguirá el orden secuencial adecuado.

Los elementos principales que componen una instalación industrial y que se deben calcular son: el compresor (que incluye normalmente el depósito de almacenamiento de aire comprimido), el enfriador (aftercooler), un deshumidificador (moisture separator), las líneas de suministro (incluidos codos, estrangulamientos, válvulas,...), y los puntos de consumo con su regulador y filtro.

El diseño de elementos y circuitos neumáticos engloba varias disciplinas: la Mecánica de Fluidos, la Termodinámica y el Cálculo de Estructuras. Esta interdependencia disciplinar hace que muchas veces su estudio se quede en la mera observación de los circuitos y las posibilidades de movimiento de los distintos actuadores, sin entrar en cálculos más detallados, que se dejan a tablas y nomogramas de los fabricantes.

Para todos los cálculos posteriores, se han de definir las condiciones que se consideran como “normales” para este fluido y que se definen según el estado termodinámico siguiente:

$$\text{Presión: } P_o = 1103 \text{ mbar} = 1,013 \text{ bar} = 0,101 \text{ MPa}$$

$$\text{Temperatura: } T_o = 293 \text{ K}$$

Densidad:  $P_{o=}$   $1,2Kg /m^3$

Viscosidad dinámica:  $\mu_o=1,8 \times 10^{-5} Kg /m \cdot s$

El subíndice “o” indicará dichas condiciones normales. En general, trabajaremos con presiones relativas (referidas a estas condiciones normales). Sin embargo, cuando se utilicen fórmulas termodinámicas, hay que tener en cuenta que las presiones que aparecen en dichas fórmulas son presiones absolutas.

#### **4.1. CALCULOS PRELIMINARES.**

##### **Situación de los puntos de consumo**

Lo primero es realizar un pequeño esquema con la distribución en planta de la nave y los puntos de consumo, con vistas a ir generando la red de distribución. Puede utilizarse para ir haciendo un listado de los componentes con sus consumos y características

##### **Requisitos de presión de los diversos dispositivos neumáticos**

Aunque en el apartado siguiente aparece cómo dimensionar los actuadores neumáticos, para los elementos utilizados comúnmente, existen gran cantidad de tablas que nos informan acerca de su consumo, la potencia que requieren, las presiones de trabajo, que permiten elegir los elementos directamente reduciendo los cálculos al mínimo.

Ha de tenerse presente que todas las herramientas neumáticas utilizan el aire, o en su descarga a través de un orificio, o trabajando sobre un pistón para realizar trabajo.

## Requisitos de caudal de los diversos dispositivos neumáticos

La tabla X, informa de la cantidad de aire que pasa a través de un orificio en función de la presión de alimentación. Junto con esta tabla y con la XI. Tendríamos definidos presión y caudal necesario para los elementos habituales.

Presión manométrica [psi]	Tamaño del orificio, diámetro en pulgadas <sup>3</sup>							
	1/64	1/32	3/64	1/16	3/82	1/8	3/18	1/4
50	0.225	0.914	2.05	3.64	8.2	14.5	32.8	58.2
60	0.26	1.05	2.35	4.2	9.4	16.8	37.5	67
70	0.295	1.19	2.68	4.76	10.7	19.0	43.0	76
80	0.33	1.33	2.97	5.32	11.9	21.0	47.5	85
90	0.364	1.47	3.28	5.87	13.1	23.5	52.5	94
100	0.40	1.61	3.66	6.45	14.5	25.8	58.3	103
110	0.43	1.76	3.95	7.00	15.7	28.0	63	112
120	0.47	1.90	4.27	7.58	17.0	30.2	68	121
130	0.50	2.04	4.57	8.13	18.2	32.4	73	130
140	0.54	2.17	4.87	8.68	19.5	34.5	78	138
150	0.57	2.33	5.20	9.20	20.7	36.7	83	147
175	0.66	2.65	5.94	10.6	23.8	42.1	95	169
200	0.76	3.07	6.90	6.90	27.5	48.7	110	195

Tabla X. Volumen de aire pasando a través de un orificio (scfm).

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 65.

A continuación se presenta dos tablas, la primera a modo de resumen, con los principales elementos y su consumo en una red de 6 bares, y la segunda más detallada.

HERRAMIENTAS	CONSUMO PARA UNA PRESION DE SERVICIO DE 6 BAR (Nm <sup>3</sup> /h)
Pequeños automatismos, instrumentos, lógica neumática	7
Pistola de pintura, llave de impacto, perforadora, lijadora, cepillo.	De 9 a 30
Pulidora, amoladora, tornillador, herramientas de inflado, pistola.	42
Tronzadora de carrocería, llave de impacto grande, cepilladora.	48
Pequeñas máquinas automáticas y herramientas varias.	54
Grandes herramientas, máquina y material de potencia.	61
Salida de compresor, aparejo neumático.	126

Tabla XI. Resumen del consumo típico de herramientas para red de 6 bar.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 66.

### **Purificación del aire comprimido.**

Antes de cada toma de consumo (entre las máquinas-herramienta y la red secundaria) se añaden elementos para preparar el aire justo antes de su consumo. El equipo de acondicionamiento para ellas incluye secadores, filtros y reguladores de presión. La selección va acompañada del tipo de herramienta empleada y la aplicación. Generalmente los recomienda el fabricante de la herramienta.

### **Tiempo de funcionamiento de los elementos (duty cycle)**

Cada dispositivo presenta un factor de utilización, en función de la cadena productiva y del operario que lo usa. Se utiliza para no sobredimensionar en exceso la red, ya que, como norma general, no utilizaremos todos los equipos simultáneamente a su máxima potencia. El usuario debería informar del ciclo de trabajo de cada herramienta.

### **Factor de utilización (use factor)**

Es el valor del tiempo de uso para cada punto de consumo (conocidas las condiciones de trabajo de la herramienta asociada). La experiencia enseña que es prácticamente imposible determinar este factor a priori. Por tanto, es preciso ser flexible en el cálculo del depósito y de la regulación y tamaño del compresor.

### **Fugas admisibles**

Es difícil determinar un valor esperado de fugas en la instalación, ya que dependen del número y tipo de conexiones, de la presión de trabajo, la calidad y los años de la instalación. Como regla general, muchos puntos de consumo con necesidades de caudal bajas tendrán muchas más fugas que pocos con necesidades altas. Instalaciones bien

conservadas presentan normalmente fugas del 2 al 5%. Con varios años de servicio pueden llegar a fugas del 10% y con mal mantenimiento, se puede alcanzar un 25%.

### **Ampliación de instalaciones**

En la mayor parte de las ocasiones conviene sobreestimar el tamaño de las conducciones principales y de algunos elementos debido a la probabilidad de una ampliación de las instalaciones en el corto/medio plazo.

### **4.2. CALCULO DEL CONSUMO DE AIRE.**

Otra característica importante es la cantidad de aire a presión necesaria (caudal) para el funcionamiento de un cilindro. La energía del aire comprimido que alimenta los cilindros se consume en forma de trabajo y, una vez usado, el aire se expulsa a la atmósfera por el escape.

El consumo teórico de aire de un cilindro es el volumen consumido por ciclo de trabajo.

Un ciclo de trabajo se refiere al desplazamiento del émbolo desde su posición inicial hasta el final de su carrera de trabajo, más el retorno a su posición inicial.

Dimensionado el actuador o actuadores del circuito, se podrá definir la cantidad de aire requerida. Esta cantidad de aire es función del tiempo de duración de cada fase o de la frecuencia de realización de una determinada tarea (movimiento lineal de una carga) o la velocidad de giro requerida (movimiento rotativo).

Se debe tener en cuenta que la cantidad de aire requerido se encuentra a una cierta presión. Por tanto, se habla de cantidad de aire en “Condiciones Normales” (subíndice o, como se definió al principio del capítulo). Así se unifica el criterio, pasando el aire a

presión atmosférica. Para este cálculo, se usa la ecuación de los gases perfectos (Ley de Boyle-Mariotte). De hecho, esta fórmula tiene bastante más interés en neumática si se dividen ambos términos por la variable tiempo, quedando:

$$P \cdot \frac{V}{t} = P \cdot Q = \frac{n}{t} \cdot R \cdot T$$

También se ha de considerar que la densidad del aire varía en función de la presión y de la temperatura de trabajo.

### **Conversión de litros de aire a presión en litros de aire libre**

Con la siguiente fórmula pasamos a las condiciones estándar una cantidad de aire a presión para calcular consumos, ya que este valor se usa para dimensionar componentes.

$$Q = Q_1 \cdot \left( \frac{P + 1.033}{1.033} \right) \quad \text{Ecuacion 4.1.}$$

Dónde:

Q1= Litros de aire comprimido a presión P.

Q = Litros de aire libre.

P = Presión del aire comprimido en Kg/cm<sup>2</sup>.

### **Gasto de cilindros neumáticos**

$$Q = \left( \frac{0.0000471 \cdot D^2 \cdot L}{t} \right) \cdot \left( \frac{P_1 + 1.033}{1.033} \right) \quad \text{Ecuacion 4.2}$$

Dónde:

Q= Litros de aire libre en l/mm.

D = Diámetro del émbolo en mm.

L = Carrera del cilindro en mm.

P = Presión del aire en Kg/cm<sup>2</sup>.

t = Tiempo en realizarse la carrera.

Finalmente, cada fabricante acaba proponiendo la forma de calcular el caudal o cantidad de aire requerida en función de la geometría y características de sus productos.

Presión de trabajo en atmósferas															
Diam. cilindro mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	Consumo de aire en litros por cm de carrera del cilindro														
6	0.0005	0.0008	0.0011	0.0014	0.0016	0.0019	0.0022	0.0025	0.0027	0.0030	0.0033	0.0036	0.0038	0.0041	0.0044
12	0.002	0.003	0.004	0.006	0.007	0.008	0.009	0.010	0.011	0.012	0.013	0.014	0.015	0.016	0.018
16	0.004	0.006	0.008	0.010	0.011	0.014	0.016	0.018	0.020	0.022	0.024	0.026	0.028	0.029	0.032
25	0.010	0.014	0.019	0.024	0.029	0.033	0.038	0.043	0.048	0.052	0.057	0.062	0.067	0.071	0.076
35	0.019	0.028	0.038	0.047	0.056	0.066	0.075	0.084	0.093	0.103	0.112	0.121	0.131	0.140	0.149
40	0.025	0.037	0.049	0.061	0.073	0.085	0.097	0.110	0.122	0.135	0.146	0.157	0.171	0.183	0.196
50	0.039	0.058	0.077	0.096	0.115	0.134	0.153	0.172	0.191	0.210	0.229	0.248	0.267	0.286	0.305
70	0.076	0.113	0.150	0.187	0.225	0.262	0.299	0.335	0.374	0.411	0.448	0.485	0.523	0.560	0.597
100	0.155	0.231	0.307	0.383	0.459	0.535	0.611	0.687	0.763	0.839	0.915	0.911	1.067	1.143	1.219
140	0.303	0.452	0.601	0.750	0.899	1.048	1.197	1.346	1.495	1.644	1.793	1.942	2.091	2.240	2.389
200	0.618	0.923	1.227	1.531	1.835	2.139	2.443	2.747	3.052	3.356	3.660	3.964	4.268	4.572	4.876
250	0.966	1.441	1.916	2.392	2.867	3.342	3.817	4.292	4.768	5.243	5.718	6.193	6.668	7.144	7.619

Tabla XII. Consumo de aire para cilindros neumáticos.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 74.

Para disponer de aire y conocer el gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación. Para una presión de trabajo, un diámetro y una carrera de émbolos determinados, el consumo de aire se calcula como sigue:

Relación de compresión – Superficie del émbolo – Carrera

La relación de compresión  $p_2/p_1$  se calcula de la forma siguiente:

$$\frac{101,3 + P_{trabajo}}{101.3} \text{ en kPa (referida al nivel del mar)}$$

Con ayuda de la tabla, se pueden establecer los datos del consumo de aire de una manera más sencilla y rápida.

Los valores están expresados por cm de carrera para los diámetros más corrientes de cilindros y para presiones de 200 a 1.500 kPa (2 – 15 bar). El consumo se expresa en los cálculos en litros (de aire aspirado) por minuto.

### **Fórmulas para calcular el consumo del aire**

Cilindro simple efecto:

$$V = s \cdot n \cdot \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot \text{relacion de compresion (l/m)} \quad \text{Ecuacion 4.3.}$$

Cilindro de doble efecto:

$$V = \left[ s \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} + s \cdot \frac{D^2 - d^2 \cdot \pi}{4} \right] \cdot n \cdot \text{Relacion de compresión (l/m)} \quad \text{Ecuacion 4.4.}$$

Dónde:

V= Cantidad de aire (l/min).

s = Longitud de carrera (cm).

n = Ciclos por minutos.

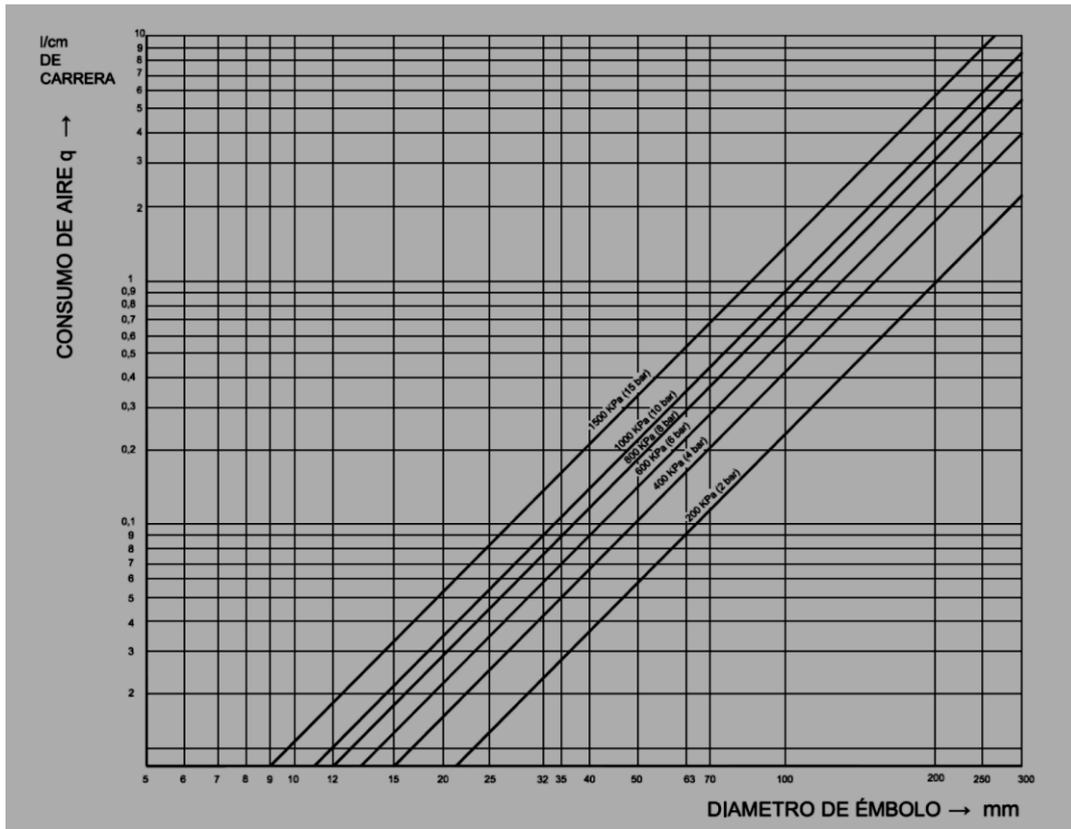


Figura LII. Consumo de aire (l/cm de carrera).

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 75.

### 4.3. DIMENSIONAMIENTO DE UNA RED.

Una vez realizado el cálculo de elementos y el “*piping*” previo (distribución inicial de tuberías), el diseñador tiene en sus manos una distribución de la instalación bastante completa. Se ha comprobado la interferencia con otros elementos físicos, y determinado las características de los puntos de consumo (caudales necesarios, presiones máximas y mínimas, factores de utilización y de carga y requisitos de acondicionamiento del aire). La distribución en planta (*piping lay-out*) de las líneas de suministro se realiza desde el compresor a los puntos de consumo. Para aumentar el rendimiento, se ha procurado minimizar en la medida de lo posible las longitudes de las tuberías desde el compresor al punto más alejado. En aquellas redes que sean muy extensas, es preferible situar el compresor en una zona central, si es posible, minimizando así la distancia al punto más

alejado, La figura muestra el típico esquema para una instalación de aire comprimido. En la sala de máquinas se sitúa el compresor, con los depósitos y los acondicionadores de aire, mientras que al exterior se llevan las líneas de suministro principales hasta los puntos de consumo.

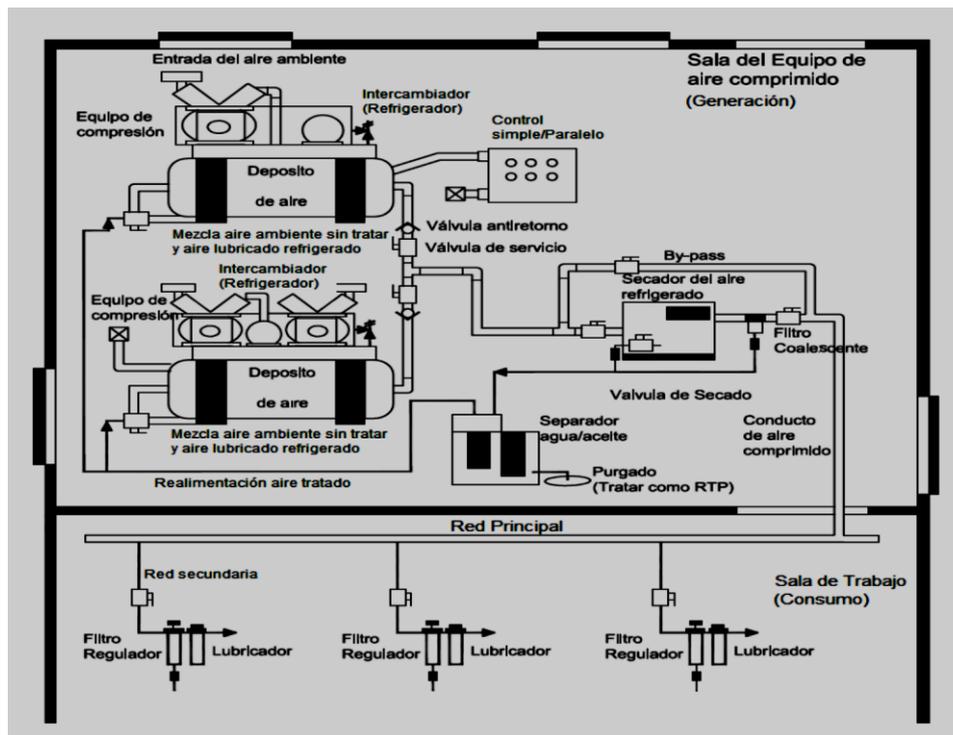


Figura LIII. Sala de compresores y tomas de consumo.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. Pag 79.

Para comenzar con el dimensionamiento de la red de aire comprimido, que debe adecuarse al tipo de producción de la empresa. Para esto se recomienda lo siguiente:

- ❖ Conocer los equipos que posee la red para saber cuántos elementos consumidores cuenta.
- ❖ Calcular el consumo del lugar donde se va a realizar los trabajos.
- ❖ Conocer la presión necesaria para cada uno de los puntos consumidores.
- ❖ Conocer el máximo nivel de humedad permisible, también como de partículas y aceite que se admite.

Herramientas o equipos	Tamaño o tipo	Presión de aire	Consumo de aire
		psi	scfm
Elevador	1 ton	70-100	1
Pistola de aire		70-90	3
Pistolas	14000 lb cap	70-90	10
Taladros rotatorios	¼ in cap	70-90	20-90
Limpiezas de motores		70-90	5
Pistola engrasadora		70-90	4
Molino	8 in	70-90	50
Molino	6 in	70-90	20
Pistola de pintura		40-70	20
Engrasadora		40-70	4
Pistola de pintura	Pequeño	70-90	7
Remachador		70-90	35
Taladro de pistón	½ in cap, 3 in cap		7
Lijadora rotatoria		70-90	50
Cambiador de neumáticos		70-90	1
Inflador de llantas		70-90	1 ½
Martillo neumático	Liviano a pesado	70-90	30-40
Martillo de arena		70-90	25-40
Destornillador	Grande	70-90	10
Puerta neumática		40-90	2
Pulidora		70-90	2
Limpieza en vacío		100-120	6
Sand. Blasting		90	6-400

Tabla XIII. Caudal de aire que consume cada equipo y su respectiva presión.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. 69.

- ❖ Saber cuánto tiempo están operativos los elementos consumidores en un periodo específico o también conocido como tiempo de funcionamiento (duty cycle).
- ❖ Establecer los puntos consumidores que se emplean de forma simultanea tanto en la línea principal y todo el suministro.  
Estimar un valor permisible de fuga.
- ❖ Considerar un valor superior para futuras ampliaciones.

### ¿Cómo se determina el caudal necesario?

Sumando las cantidades de aire en cada punto de consumo determinamos el caudal que consume la planta. Luego para obtener la carga real, se multiplica la cantidad de carga teórica por un factor de uso y de simultaneidad, dichos factores se establecen tomando en cuenta que se tenga tiempos muertos en algunas máquinas que en ese momento no se está utilizando.

El factor de uso viene dado por el tiempo de funcionamiento. Es el tiempo que la maquina está trabajando. Otro parámetro que se considera para calcular el consumo es el factor de simultaneidad, que depende del número de unidades que están consumiendo en un determinado momento.

El consumo total será igual al consumo de todas las maquinas que estén funcionando.

Cantidad de unidades consumidoras.	Factor de simultaneidad	Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad
1	1	9	0.73
2	0.94	10	0.71
3	0.89	11	0.69
4	0.86	12	0.73
5	0.83	13	0.71
6	0.80	14	0.69
7	0.77	15	0.65
8	0.75	100	0.20

Tabla XIV. Factor de simultaneidad.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>. 71.

No se debe olvidar que si la presencia de expansiones futuras y no son conocidas dicho factor con seguridad, se deberán considerar 3 años con 10 a 15% por año por lo tanto el caudal real es:

$$Q_{real} = Q_{teórica} \times \text{factor de uso} \times \text{factor de simultaneidad}$$

Llegados a este punto, es posible comenzar el dimensionamiento de la instalación. El diámetro de la tubería debe elegirse en conformidad de:

- ❖ El caudal (la velocidad del líquido -el régimen laminar o turbulento del flujo)
- ❖ La longitud y el diámetro de las tuberías
- ❖ La pérdida de presión (admisible) y la presión de servicio
- ❖ La rugosidad del material de la tubería
- ❖ La cantidad de estrangulamiento en la red (codos, curvas,...)

El proceso del cálculo de las pérdidas de carga totales constituye un balance energético aditivo. Es decir, se van sumando todas las pérdidas existentes debidas al flujo en el interior de los conductos cilíndricos (pérdidas lineales) más las existentes en los distintos elementos (pérdidas singulares). De esta forma, se define la presión de trabajo del compresor como suma de la presión requerida para el movimiento de la carga más las pérdidas de carga totales.

#### 4.3.1. PERDIDA DE PRESION QUE SE PRODUCE EN UNA RED.

Las pérdidas se producen en la longitud de la tubería, accesorios como los codos, tees válvulas; debido a que los cambios bruscos de dirección producen perdidas de presión en las líneas. Estos parámetros son considerados en la siguiente tabla:

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

Tabla XV. Valores de longitud equivalentes.

Fuente: HESSE, Stefan., Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG & Co., 2002. 70.

Longitud de los tubos a incluirse:

$$L_{Total} = L_L + \sum_{i=1}^n L_{equivalente}; n \text{ accesorios que se tiene en consideración.}$$

Simplificando el cálculo podemos considerar un valor empírico.

$$L_{Total} = 1.6xL_L, \quad \text{Ecuación 4.5}$$

Podemos calcular el diámetro de la tubería utilizando nomogramas que un método seguro. Aunque también se puede determinar el cálculo con la siguiente formula.

$$d = \sqrt[5]{1.6xV^{1.85}x \frac{L_{Total}}{\Delta p x P1}}, \quad \text{Ecuacion 4.6}$$

d Diámetro interno en metros.

P1 Presión en que funciona en metros.

$\Delta p$  Perdidas Pa (parámetro no mayor a 0.1 bar).

$L_{Total}$  longitud en metros de la tubería (corrección del valor).

V Caudal en m<sup>3</sup>/seg.

#### **4.3.1.1. CALCULO DE PERDIDAS EN CONDUCTOS LINEALES.**

A continuación, conocidos los datos del caudal que llega a cada actuador y teniendo definidas las dimensiones de los mismos, se puede dimensionar los conductos. Se deben considerar las fugas de caudal y las pérdidas de carga. Para las fugas de caudal no existe una regla general.

En todo circuito, el mantenimiento para asegurar la estanqueidad es muy importante, pero siempre un porcentaje del aire se acabará escapando. Además, los posibles cambios de temperatura a lo largo de la instalación pueden modificar la cantidad total de aire requerido.

Porcentajes del 10%-20% pueden ser habituales en circuitos neumáticos.

En cuanto a las pérdidas de carga, se han de obtener tanto las pérdidas lineales (longitud de los conductos), como las pérdidas singulares (codos, bifurcaciones, válvulas, etc.). Para el cálculo de las pérdidas, se utilizan las condiciones estándar dadas al principio del capítulo.

Para las pérdidas lineales, si no se dispone de medidas experimentales, se puede utilizar la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$h_{pl} = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} = \frac{8 \cdot f \cdot L}{g \cdot \pi^2 \cdot D^5} \cdot Q^2 \quad \text{Ecuacion 4.7.}$$

Dónde:

- L: longitud de la tubería
- V: Velocidad del fluido
- D: Diámetro de la tubería
- g: aceleración de la gravedad
- f: coeficiente de fricción

Para calcular el coeficiente de fricción se puede utilizar el diagrama de Moody (aparece en cualquier libro de mecánica de fluidos) o una ecuación aproximada, como la de Barr.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left( \frac{\varepsilon}{3.7 \cdot D} + \frac{5.1286}{Re^{0.89}} \right) \quad \text{Ecuacion 4.8.}$$

En cuanto a la rugosidad, necesaria para entrar en el diagrama de Moody, depende del tipo de material. Para el acero está entre 0,02 y 0,05 (oxidado puede llegar a 2), para el Aluminio 0,015 y para el plástico 0,002.

El número de Reynolds para flujo en conductos circulares es:

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} \quad \text{Ecuacion 4.9.}$$

Para la viscosidad dinámica se puede utilizar la expresión:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left( \frac{T}{293} \right)^n \quad \text{Ecuacion 4.10.}$$

Donde la temperatura ha de introducirse en kelvin.

Lógicamente, las pérdidas de carga (expresadas en la ecuación 2.13) tienen un efecto aditivo aguas abajo, produciendo incrementos en la presión de trabajo del compresor.

Respecto al diámetro de los conductos, utilizando elementos de acero al carbono (SPG), se tienen normalizados valores que son fracciones de pulgada, desde 1/16.

Otros autores proponen la siguiente formulación: Para comenzar y mantener el flujo de un gas en una tubería, es necesaria una cierta diferencia de presión, para vencer la resistencia por rozamiento de las paredes de la tubería y acoplamientos. La cuantía de la caída de presión depende del diámetro, de la longitud y forma de la tubería, de la rugosidad superficial y del número de Reynolds. La pérdida de presión es una disminución de energía, y por tanto un coste operacional. El diseño de la tubería debe

equilibrar este coste con el de la misma tubería. Como estimación se puede utilizar la siguiente ecuación:

$$\Delta p = f \cdot V^{1.85} \cdot Ll(d^5 - p_m) \quad \text{Ecuacion 4.11.}$$

Donde

- $\Delta p$ : es la caída de presión en bar
- $f$ : es el factor de rozamiento
- $V$ : es flujo de volumen en l/s (aire libre)
- $d$ : es el diámetro interior de la tubería de mm
- $p_m$ : es la presión media absoluta en bar

Calculándose  $f$  de la misma manera que se explicó anteriormente.

Para tuberías convencionales de acero como las utilizadas para el aire comprimido a presiones y temperaturas normales  $f \approx 500$  con las unidades elegidas.

La longitud de tubería se aumentara para compensar conexiones y acoplamientos (sólo para los cálculos).

Aparte de toda esta formulación, como era de esperar, existen gran cantidad de nomogramas para el cálculo de la caída de presión, como el que se muestra a continuación o el que aparece en el ejemplo del apartado siguiente.

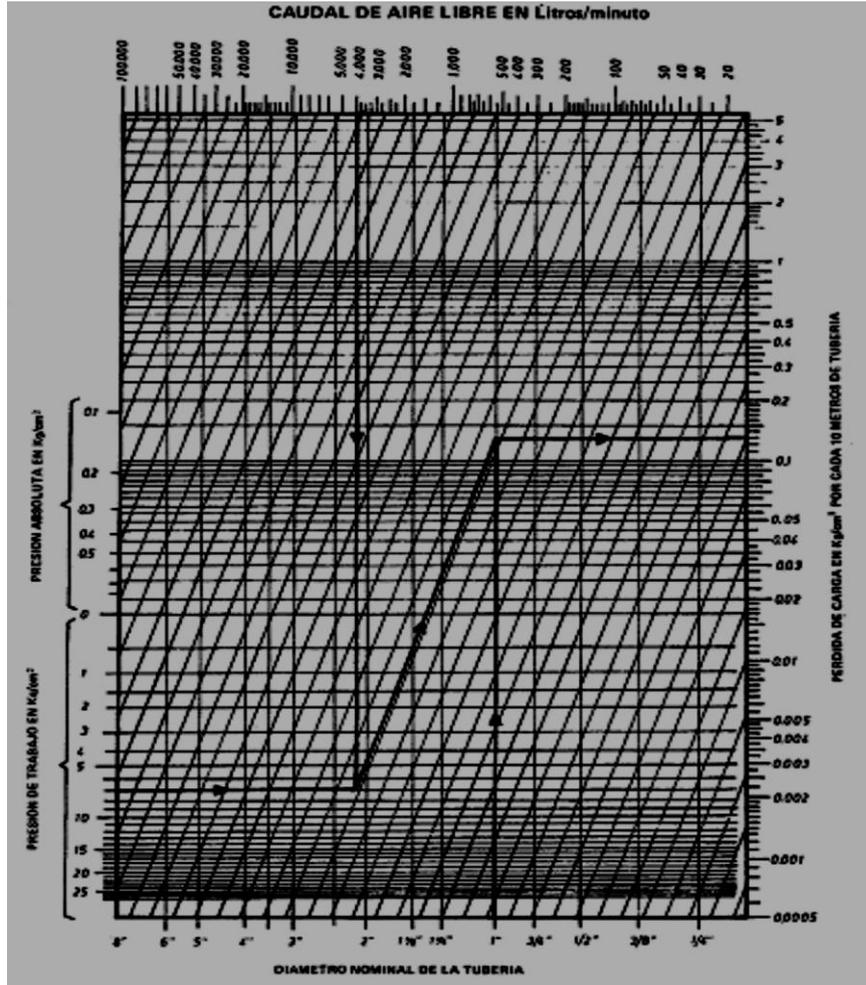


Figura LIV. Nomograma para el cálculo de carga y diámetro de tubería.  
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. pag 83.

#### 4.3.1.2. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN ELEMENTOS SINGULARES.

Hay que determinar la longitud equivalente desde el compresor al punto más alejado de la instalación. Para ello, a la longitud real se le ha de sumar la longitud equivalente que aportan las pérdidas singulares. Con este procedimiento, el grado de obstrucción al flujo se convierte en una longitud lineal equivalente para facilitar los cálculos.

Para el cálculo de las pérdidas singulares, habitualmente, se utiliza la siguiente fórmula:

$$h_{ps} = \varepsilon \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g} = \frac{8 \cdot \varepsilon}{g \cdot \pi^2 \cdot D^2} \cdot Q^2 \quad \text{Ecuacion 4.12.}$$

El coeficiente de pérdidas,  $\xi$ , se obtiene a partir de valores experimentales. Se han recogido algunos en la tabla.

Elemento	Diámetro (Pulgadas)	$\xi(-)$
<b>Válvulas</b>	1	5.00
	2	4.00
	4	3.00
	8	2.00
<b>Codo 90°</b>	1	0.50
	2	0.39
	4	0.30
	8	0.26
<b>Bifurcaciones</b>	1	0.50
	2	0.40
	4	0.30
	8	0.30

Tabla XVI. Coeficiente de pérdida ( $\xi$ ), para distintos elementos.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache.pag> 84.

En la tabla siguiente vemos las longitudes equivalentes para diferentes elementos según su diámetro (tamaño).

TIPO DE ELEMENTO		Longitud de tubería equivalente en m										
		Diámetro interior de tubería en mm										
		25	40	50	80	100	125	150	200	250	300	400
Válvula de compuerta		0.3 5	0.5 8	0.6 10	1.0 15	1.3 20	1.6 25	1.9 30	2.6 40	3.2 50	3.9 60	5.2 80
Válvula de diafragma		1.5	2.5	3.0	4.5	6	8	10	-	-	-	-
Válvula acodada		4	6	7	12	15	18	32	30	36	-	-
Válvula esférica		7.5	12	15	24	30	36	45	60	-	-	-
Válvula anti retorno pivotante		2.0	3.2	4.0	6.4	8.0	10	12	16	20	24	32
Codo curvado R=2d		0.3	0.5	0.6	1.0	1.2	1.5	1.6	2.4	3.0	3.6	4.8
Codo curvado R=d		0.4	0.6	0.8	1.3	1.6	2.0	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4
Ángulo 90°		1.5	2.4	3.0	4.6	6.0	7.5	9	12	15	18	24
T lado recto		0.5	0.8	1.0	1.6	2.0	2.5	3	4	5	6	8
T salida angular		1.5	2.4	3.0	4.8	6.0	7.5	9	12	15	18	24
Reductor		0.5	0.7	1.0	2.0	2.5	3.1	3.6	4.8	6.0	7.2	9.6

Tabla XVII. Longitud de tubería equivalente utilizados en conducciones.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache.pag> 85.

Obtenida la longitud equivalente de todos los elementos singulares de la instalación, podemos pasar al cálculo de las pérdidas de carga en la instalación completa.

### 4.3.1.3. CALCULO DE PERDIDAS DE CARGA EN INSTALACIONES COMPLETAS.

Una vez conocida la longitud equivalente de la instalación, se determina la pérdida de carga asociada a esa longitud. Para ello se emplea la ya conocida fórmula de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \frac{8 \cdot f \cdot \rho \cdot L \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^5} \quad \text{Ecuacion 4.13.}$$

Otra forma de calcularla es utilizando tablas que ya incorporan los cálculos que se derivan de esta ecuación. La tabla siguiente calcula la pérdida de carga (en lb/pulg<sup>2</sup>) para tuberías de diversos diámetros, siendo éstas de una longitud de 100 pies, para aire suministrado a 100 psi (690 kPa, o también 6.9 bar) y 16°C [40].

Pie cúbico de aire libre a 60°F, y 14.6 psia	Tamaño de la tubería (NPS)									
	½	¾	1	1 ¼	1½	2	2 ½	3	4	5
1	.007									
2	.014									
3	.031									
4	.055	.012								
5	.086	.019								
6	.124	.028								
8	.220	.050	.013							
10	.345	.078	.021							
15	.775	.175	.046	.011						
20	1.375	.311	.082	.020						
25	1.153	.486	.128	.031	.014					
30	3.101	.700	.185	.045	.020					
40	5.512	1.244	.328	.079	.035					
50	8.613	1.943	.513	.124	.055	.015				
60	12.402	2.799	.739	.179	.079	.021				
70		3.809	1.006	.243	.107	.029	.012			
80		4.975	1.314	.318	.140	.038	.016			
90		6.297	1.663	.402	.177	.048	.020			
100		7.774	2.053	.497	.219	.060	.025			
125		12.147	3.207	.776	.342	.093	.038	.012		
150			4.619	1.118	.492	.134	.055	.018		
175			6.287	1.522	.670	.183	.075	.024		
200			8.211	1.987	.875	.239	.098	.031		
250			12.830	3.105	1.367	.373	.153	.049	.011	
300				4.471	1.968	.537	.221	.071	.016	
350				6.086	2.678	.731	.301	.096	.022	
400				7.949	3.498	.955	.393	.125	.029	
450				10.061	4.428	1.209	.497	.159	.036	.011
500				12.421	5.466	1.493	.614	.196	.045	.014
550					6.614	1.806	.743	.237	.054	.016
600					7.871	2.150	.884	.282	.064	.020

Tabla XVIII. Caída de presión de aire (lib/pulg<sup>2</sup>)(por cada 100 pies de tubería p=100 lib/pulg<sup>2</sup>).  
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. pag 86.

Por último, para los puntos finales de consumo, se pueden emplear los siguientes valores como característicos:

- Filtros en puntos finales de consumo: 0.5 a 2 psi de pérdidas.
- Conexiones rápidas: 4 psi de pérdidas.
- Tubo de drenaje: 1 a 2 psi de pérdidas.

#### **4.4. CAUSAS DE PRESIONES BAJAS.**

Hay tres causas primordiales en el siguiente orden de importancia:

- 1) Tuberías y mangueras inadecuadas.
- 2) Fugas excesivas.
- 3) Capacidad de generación insuficiente.

##### **Tuberías y mangueras inadecuadas.**

La verificación de una red existente, requiere un monitoreo de las presiones desde el compresor hasta los sitios de uso más alejados. Se recomienda analizar por zonas y verificar por separado las tuberías de las mangueras y demás elementos de los sitios de utilización del servicio. La pérdida de presión desde la salida de los compresores, hasta los puntos más alejados no debe exceder 5 a 6 psi.

Para determinar las pérdidas en las mangueras de caucho utilizadas en herramientas se puede usar un manómetro. La presión se debe medir para la máxima exigencia de la herramienta y la pérdida debe estar entre 4 y 5 psi.

## Fugas

Es un problema serio en muchas instalaciones. Si se ha determinado bien todos los cálculos tanto de tubería como de compresor, y sin embargo no existe baja presión; entonces es debido a fugas que pueden presentarse en el sistema.

Diámetro del orificio.	Fuga de aire a 6 bar.		Potencia necesaria para la compresión.
	mm	l/s	m <sup>3</sup> /min
1	1	0.06	0.3
3	10	0.6	3.1
5	27	1.6	8.3
10	105	6.3	33

Tabla XIX. Caudal de aire que se pierde según el diámetro del orificio.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf> pag 74.

La magnitud de las fugas se obtiene midiendo la cantidad de aire suministrada por los componentes manteniendo la presión normal sin que exista consumo de aire. Las medidas de fugas son particularmente útiles si las pérdidas se pueden determinar por cada sección del sistema de cañerías.

Los escapes se localizan puntualmente y pueden ser pequeños, pero gran número de estos proporcionan un efecto acumulativo apreciable. Para el control de las fugas se recomienda.

- 1) Un programa de mantenimiento permanente sobre las empaquetaduras de las válvulas.
- 2) Reemplazo de válvulas de corte que presenten fugas por deterioro de estas.
- 3) Utilizar acoples de mangueras de muy buena calidad y en buen estado.
- 4) Reducir la presión en sistemas de soplado, al mínimo satisfactorio.
- 5) Usar mangueras de muy buena calidad para reducir quiebres y fugas en estas.

- 6) Controlar la humedad en el sistema, instalado separadores de condensados y drenajes para evitar el soplado de líneas para desalojar el agua. Esto no debe ocurrir en una instalación bien diseñada y bien mantenida.

Para cuantificar las pérdidas por fugas y si es posible se pueden cerrar todos los consumidores y registrar los tiempos de trabajo del compresor, se puede medir flujo y observarlas.

### **Capacidad de generación insuficiente.**

Suele suceder que los compresores no abastezcan con la capacidad necesaria y suficiente de aire comprimido para operar los equipos neumáticos existentes en la planta, llegando a trabajar con presiones inferiores a las de trabajo posiblemente varias máquinas dejen de operar por la demanda de aire presente.

#### **4.4.1. COSTOS DEL AIRE COMPRIMIDO DESPERDICIADO (FUGAS).**

El aire es gratis hasta que se comprime, el aire comprimido es energía. La energía cuesta dinero, el aire comprimido que se tira a la atmósfera en forma de fugas es dinero desperdiciado.

La mayoría de las plantas gastan hasta un 20% de su producción de aire en fugas. Esto representa cerca de \$85000 dólares en energía desperdiciada por año.

El ahorro empieza desde el momento que deja de desperdiciar aire. Las fugas le están costando dinero en este momento. Las fugas seguirán costando dinero hasta ser reparados.

Tamaño de la fuga (mm)	Scfm	Cfm/día.	cfm/año	Costo (USD)
0.5	0.5664	815.616	296.884	\$160.31
1	2.3009	3313.296	1206.040	\$651.26
2	9.2036	13253.184	4824.159	\$2605.04
3	20.708	29819.52	10854.305	\$5861.32
4	36.8142	53012	19296.531	\$10420.12

Tabla XX. Basados en el sistema de 100 PSI. El costo del aire tomado como \$0.54 por cada 1000 pies cúbicos.  
Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf> pag 76.

### ¿Por qué es importante el control y el monitoreo?

El uso y la producción de aire comprimido son factores clave para el aseguramiento de calidad del producto elaborado. Un monitoreo de la presión de servicio puede ser extremadamente útil cuando se intenta resolver problemas de aseguramiento de calidad causados por súbitas caídas de presión o alguna falla en el equipo neumático.

### 4.5. DIMENSIONAMIENTO DEL COMPRESOR.

La selección del tipo de compresor y de su capacidad son parámetros críticos en el diseño de una instalación de aire comprimido. Una acertada elección supone un gran ahorro energético durante el funcionamiento normal de la instalación.

Para elegir correctamente el tipo de compresor más apropiado, es preciso conocer el consumo total de aire comprimido, que es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento.

Puesto que todos los elementos neumáticos de una instalación no trabajan generalmente a toda su capacidad al mismo tiempo durante las 24 horas del día, es habitual definir un factor de carga como:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Consumo de aire en 24 horas}}{\text{Maximo consumo continuado en 24 horas}} ; \text{ Ecuacion 4.14}$$

Este factor trata de tener en cuenta los consumos intermitentes, para optimizar al máximo los tiempos de arranque del compresor que rellenan los depósitos.

En general, se establecen cinco pasos básicos para fijar correctamente la capacidad del compresor. A saber:

- 1) Estimar el total de consumos de todos los dispositivos que emplean aire.
- 2) Determinar la presión más elevada que requieran estos elementos.
- 3) Revisar los ciclos de trabajo y determinar los factores de carga de los elementos.
- 4) Estimar un valor típico de fugas.
- 5) Fijar las máximas caídas de presión admitidas tanto para los diversos elementos como para las conducciones.

Otras consideraciones que afecten al diseño son las condiciones medioambientales del entorno, la altitud, el mantenimiento que se realizará, etc.

Una vez determinado el consumo necesario y la presión demandada al compresor, se ha de elegir el tipo más adecuado para dicha aplicación. En general la figura fija los límites de uso de los diversos compresores presentados en el capítulo primero.

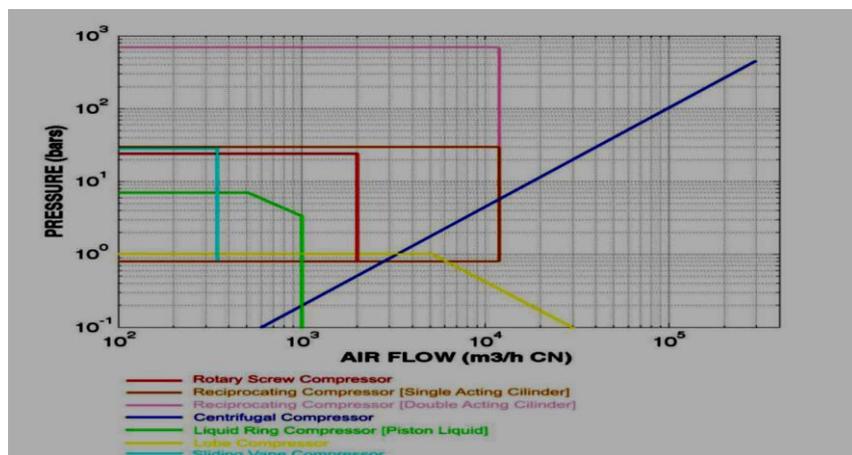


Figura LV. Rangos de uso de compresores.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>. pag 88.

Como cálculo final, se puede dar un criterio para seleccionar el compresor mediante la obtención de la potencia requerida. Para ello, se ha de disponer de los caudales de entrada (sección 1) y salida (sección 2). Por tratarse de flujo compresible, dichos caudales no son iguales, por lo que la fórmula de cálculo de la potencia será:

$$W = P_2 \cdot Q_2 - P_1 \cdot Q_1 \quad \text{Ecuacion 4.15.}$$

Donde la presión en la salida (P2) sería el resultado de los cálculos anteriormente expuestos (suma de la presión requerida para realizar un efecto útil más las correspondientes pérdidas de carga) y la presión en la entrada (P1), que habitualmente será la atmosférica (a menos que el compresor aspire el aire de una sala o depósito a presión). Utilizando las expresiones del flujo compresible, se puede reordenar y obtener:

$$W = P_2 \cdot Q_2 - P_1 \cdot Q_1 = P_2 \cdot Q_2 \cdot \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \quad \text{Ecuacion 4.16.}$$

Expresión en la que la única variable no definida es  $\gamma$ , es decir, el coeficiente de expansión adiabático, que para el aire tiene un valor  $\gamma = 1.4$ . Este valor calculado de potencia media serviría para seleccionar el correspondiente equipo en un catálogo.

Existen otras formas de dimensionado y, en general, la decisión se deja al proveedor.

#### **4.5.1. GRUPO COMPRESOR.**

Además del dimensionado del compresor, es necesario elegir el resto de componentes que se encuentran en la sala de máquinas y dimensionarlos también, aunque generalmente es el fabricante el encargado de facilitar toda la instalación necesaria.

Vemos en el siguiente esquema los elementos necesarios en la sala de compresores.

El grupo compresor de aire está formado por:

1. Filtro de aire aspirado.
2. Grupo moto compresor.
3. Refrigerador.
4. Válvula anti retorno.
5. Acumulador de aire, depósito.
6. Válvula de seguridad. Limitador de presión.
7. Purgador manual.
8. Presostato. Al alcanzar el depósito la presión máxima, manda una señal de paro al motor.
9. Conjunto de: filtro – manómetro – regulador – engrasador.

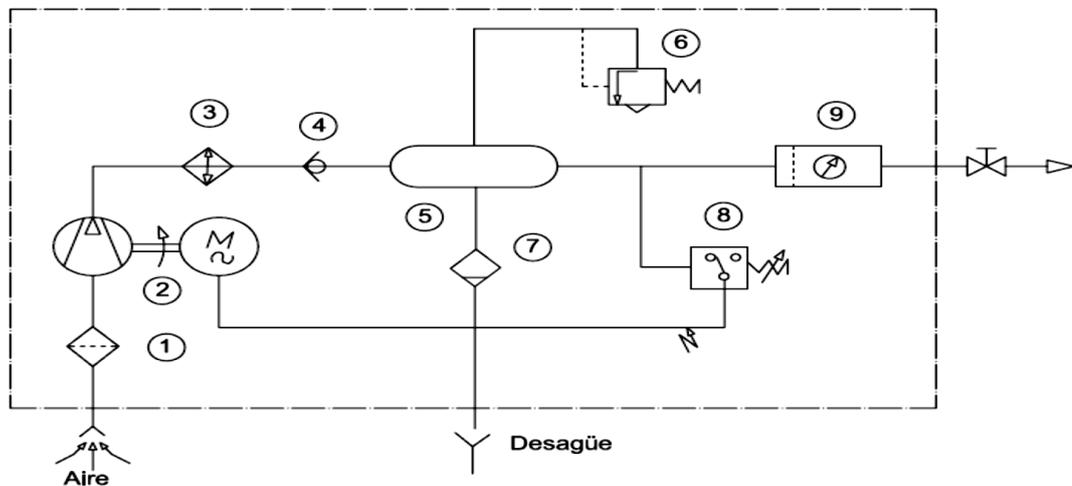


Figura LVI. Grupo compresor.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/207082890/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache.pag> 89.

#### 4.6. DIMENSIONAMIENTO DEL DEPÓSITO.

Aunque no exista una norma general de cómo ha de dimensionarse los depósitos, se considera que debería ser en base a la demanda y el compresor, pudiendo ser estos

constantes o variables; teniendo en cuenta los arranques por hora, y los parámetros de diseño con sus tiempos máximos de funcionamiento.

El acumulador está asociado con:

- ❖ El suministro proporcionado por el compresor.
- ❖ El consumo de aire.
- ❖ El tipo de regulación.
- ❖ La red de tubería (volumen suplementario).
- ❖ La diferencia de presión en la red.

Los depósitos suelen tener volúmenes de 0.1 a 20lt mientras que en estaciones centrales de compresores, tienen capacidades grandes de almacenamiento.

Los depósitos pueden ser horizontales o verticales, siendo estos últimos muy utilizados porque ocupan menos espacio.

El tamaño del caudal puede ser determinado.

- Selección del depósito en el caso de consumo constante de aire comprimido.

Cuando el consumo de aire comprimido es constante se puede determinar el volumen del recipiente utilizando la ecuación siguiente:

$$V_p = \frac{14.7 \times C_o}{(P + 14.7)}, \quad \text{Ecuación 4.17}$$

Donde

$V_p$  = Presión de trabajo absoluta.

$P$  = Presión de trabajo en libras/pulg<sup>2</sup> manométrica (psia).

Co=Pies cúbicos/min. (CFM).

- Selección del depósito en el caso de consumo irregular de aire comprimido.

Donde el volumen del depósito  $V_{Dep}$  expresado en  $m^3$  se calcula mediante las siguientes ecuaciones.

$$V_{Dep} = \frac{\Delta t_{cons}}{\Delta p} (V_{cons} - V_{ef}), \quad \text{Ecuación 4.18.}$$

$\Delta T_{cons}$  Duración del pico de consumo en minutos.

$\Delta p$  Caída de presión admisible en el depósito, expresada en bar.

$V_{cons}$  pico de consumo en  $m^3/min.$  (Aspiración).

$V_{ef}$  cantidad efectiva en  $m^3/min.$

Pausas para llenar el depósito.

$$\Delta t_{llen} = \frac{V_{dep} \times \Delta p}{V_{ef}}, \quad \text{Ecuación 4.19.}$$

- Selección del depósito en función de la frecuencia de conexión.

Volumen necesario del depósito.

$$V_{Dep} = \frac{15 \times V_{ef} \times P_1}{Z_s * \Delta p}, \quad \text{Ecuación 4.20.}$$

$P_1$  Presión del entorno en bar.

$Z_s$  Frecuencia de conexión en  $h^{-1}$

$\Delta p$  Diferencia de la presión de conexión en bar

## **CAPITULO V: DISEÑO E IMPLEMENTACION DE LA RED NEUMATICA.**

En este capítulo hace referencia al diseño e implementación de la red neumática siendo necesario realizar lo siguiente:

- ✓ Calculo del consumo de aire del laboratorio.
- ✓ Dimensionamiento de tubería, compresor y accesorios.
- ✓ Implementación de la red de aire en el laboratorio de la EIE.CRI.

La utilización de aire comprimido como medio de energía en el laboratorio de hidráulica y neumática es muy necesario para el funcionamiento de los equipos con los que cuenta esta. A continuación se detalla los pasos realizados para el desarrollo del proyecto.

## 5.1. CONCEPTOS UTILIZADOS.

Es necesario comprender varios términos que serán empleados para la realización del cálculo del consumo total de aire que necesita el laboratorio para el funcionamiento más óptimo.

Presión.- Se define como la fuerza que se aplica sobre una superficie determinada.

$$P = \frac{Fuerza}{Area}$$

Factor de simultaneidad (fs.).- Establece el porcentaje de aplicación del mismo tipo de maquina o equipo que trabajan al mismo tiempo cabe indicar que el factor es un valor empírico.

Factor de uso (fu).- Es el tiempo de uso de cada máquina para realizar su trabajo durante las 24 horas.

Caudal (Q).- Es el volumen de gas transportado por unidad de tiempo que atraviesa una sección transversal de un conducto. Se puede relacionar el caudal (Q) con la velocidad (v), a través del área transversal del flujo (A).

$$Q = \frac{A * X}{\Delta t}; Q = A * V \quad Ecuacion 5.1.$$

Densidad ( $\rho$ ).- Se define como la masa por unidad de volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

CFM: Pies cúbicos por minuto en condiciones de operación.

SCFM: Pies cúbicos por minuto en condiciones estándares de temperatura y presión:

- 14.969 PSIA o 1.01 Bar.
- 60 °F o 16 °C.
- 0% Humedad relativa (H.R).

ACFM: Es el caudal en pies cúbicos por minuto en condiciones de presión, temperatura y humedad reales de operación.

Para obtener los ACFM es multiplicando el valor en SCFM por el factor de corrección de altitud.

ALTITUD EN PIES SOBRE EL NIVEL DEL MAR	FACTOR	ALTITUD EN PIES SOBRE EL NIVEL DEL MAR	FACTOR
0	1	5000	1.2
500	1.02	5500	1.22
1000	1.04	6000	1.25
1500	1.06	6500	1.27
2000	1.08	7000	1.3
2500	1.1	7500	1.32
3000	1.12	8000	1.35
3500	1.14	8500	1.37
4000	1.16	9000	1.4
4500	1.18	9500	1.45

Tabla XXI. Factor de corrección de altitud.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf> pag 79.

**Caudal real.-** Para obtener este valor se realiza el cálculo de consumo total aire por sección a través de la sumatoria de los consumos parciales por el tipo de aplicación.

$$Q_R = \sum n(Q * f_s * f_u); \quad \text{Ecuacion 5.2.}$$

Q<sub>R</sub>= Flujo real ACFM.

n= Numero de equipos de trabajo con el mismo tipo de aplicación.

f<sub>s</sub>= Factor de simultaneidad, en función de parámetros de n.

f<sub>u</sub>= Factor de uso.

## 5.2. CAUDAL DE CONSUMO DE AIRE DEL LABORATORIO.

Para calcular el consumo de aire del laboratorio de hidráulica y neumática, se ha considerado realizar una tabla en la que constan los equipos consumidores con los que cuenta los diferentes módulos, para luego calcular el consumo de cada uno de ellos y así obtener el consumo de aire que se necesita para la red.

Cilindros:

CANTIDAD	TAMAÑO DEL DIÁMETRO (mm)	VASTAGO DE DIAMETRO (mm)	LONGITUD DE LA CARRERA (mm)
3	32	12	175
1	20	8	175
1	40	16	175
1	32	12	150
1	40	16	125
1	25	10	100
3	20	8	100
3	16	6	100
1	25	10	50
3	20	8	50
2	16	8	25

Tabla XXII. Elementos consumidores.

Fuente: Datos tomados del laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE. CRI. (Luis Alberto Garcia Mora).

Otros cilindros:

CANTIDAD	TAMAÑO DEL DIÁMETRO (mm)	VASTAGO DE DIAMETRO (mm)	LONGITUD DE LA CARRERA (mm)
10	20	8	50
1	25	10	50
1	25	10	50
1	50	20	100

Tabla XXIII. Otros elementos consumidores.

Fuente: Datos tomados del laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE. CRI. (Luis Alberto Garcia Mora).

Primero calcularemos la relación de compresión:

$$\frac{101.3 + P_{trabajo}}{101.3} = \frac{101.3kPa + 600kPa}{101.3kPa} = 6.9$$

Ahora calculamos el consumo utilizando las ecuaciones 4.3 y 4.4 para cilindros de simple efecto y de doble efecto respectivamente.

$$V = s.n. \frac{d^2\pi}{4} \cdot \text{relacion de compresion} \quad (\text{cilindros de simple efecto.})$$

$$V = \left[ s. \frac{D^2\pi}{4} + s. \frac{(D^2 - d^2)\pi}{4} \right] n. \text{relacion de comp} \quad (\text{cilindros de doble efecto})$$

Si aplicamos la formula a cada cilindro tenemos:

$$V = \left[ 175 \frac{32^2 \times \pi}{4} + 175 \frac{(32^2 - 12^2)\pi}{4} \right] 10 \times 6.9$$

$$V = \left[ 175mm \frac{1024mm^2 \cdot \pi}{4} + 175mm \frac{(1024mm^2 - 144mm^2)\pi}{4} \right] 10min^{-1} \times 6.9$$

$$V = (140743.35mm^3 + 120957.32mm^3) 10min^{-1} \times 6.9$$

$$V = 261700.67mm^3 \times 69min^{-1}$$

$$V = 18057346.23 mm^3/min = 0.018 m^3/min = 1.08 m^3/h$$

Para el cilindro de 20 mm de diámetro del embolo y 8mm de diámetro de vástago con una carrera de 175 tenemos:

$$V = 6979990.56 mm^3/min = 0.00698 m^3/min = 0.42 m^3/h$$

Así calculamos para el resto de cilindro, a continuación se presenta una tabla que contiene los valores obtenidos en los cálculos:

CANTIDAD	CILINDRO	CONSUMO POR UNIDAD (m <sup>3</sup> /h)	CONSUMO TOTAL (m <sup>3</sup> /h)
3	32 X 175	1.08	3.24
1	20 X 17 5	0.42	0.42
1	40 X 175	1.68	1.68
1	32 X 150	0.92	0.92
1	40 X 125	1.20	1.20
1	25 X 100	0.37	0.37
3	30 X 100	0.24	0.72
3	16 X 100	0.15	0.45
1	25 X 50	0.18	0.18
3	20 X 50	0.12	0.36
2	16 X 25	0.036	0.072
10	20 X 50	0.12	1.2
2	25 X 50	0.18	0.36
1	50 X 100	1.5	1.5
TOTAL DE CONSUMO			12.67

Tabla XXIV. Consumo de aire en el laboratorio.  
Fuente: Cálculos realizados (Luis Alberto Garcia Mora).

Como el consumo calculado está en m<sup>3</sup>/h lo convertiremos a las unidades más habituales:

$$consumo = 12.67 \frac{m^3}{h} = 211.17 \frac{l}{min} = 7.46 \text{ pie}^3/min$$

Calcularemos ahora con el diagrama de consumo de aire para el primer cilindro tenemos:

Mediante el diagrama obtenemos el consumo de aire por centímetro de carrera.

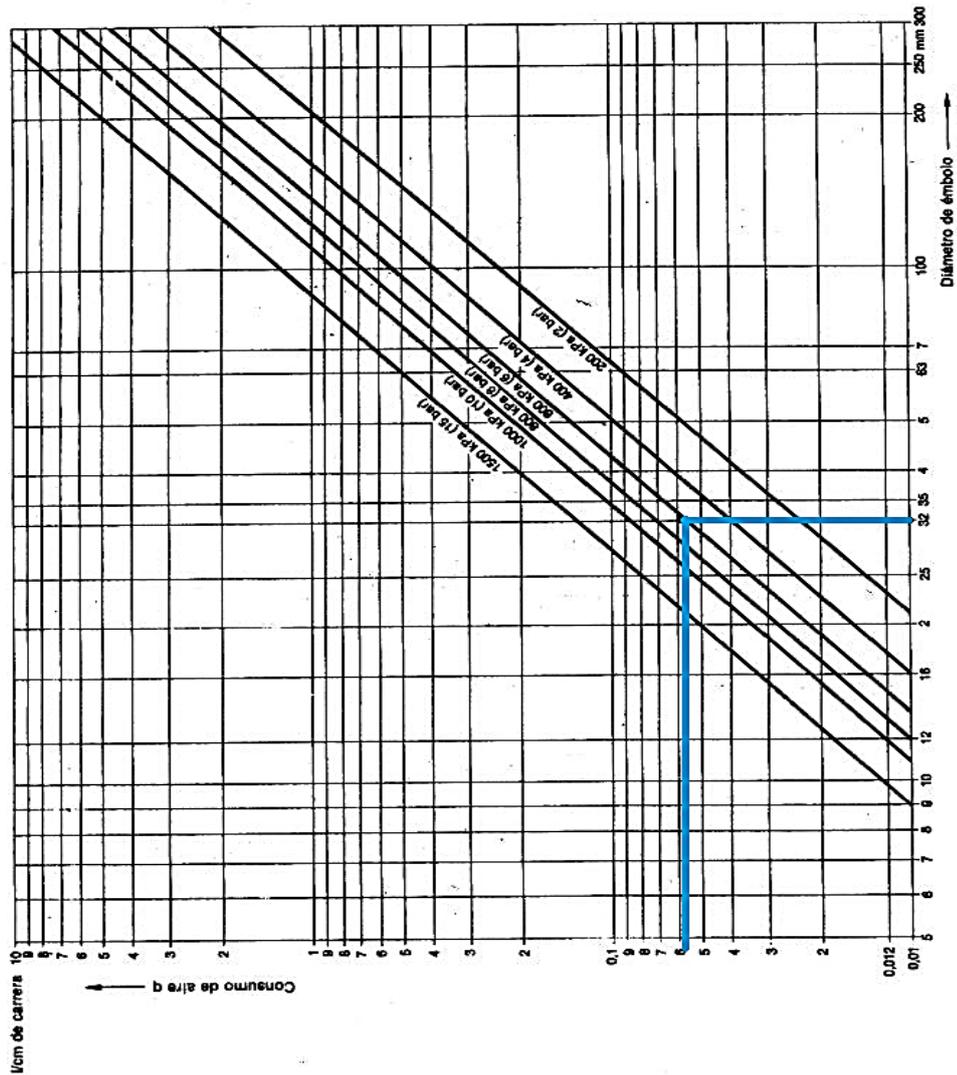


Figura LVII. Consumo de aire a través de nomogramas.

Ahora calculamos el consumo con la formula siguiente:

$$V = 2. (s. n. q)(l/min)$$

Dónde:

V= Cantidad de aire (l/min).

N= ciclos por minuto (1/min).

S= Longitud de la carrera (cm).

Q= consumo de aire por cm de carrera (l/cm).

Entonces tenemos:

$$V = 2 \left( 17.5 \frac{cm}{min} \frac{10 \cdot 0.056 l}{cm} \right) = 19.6 \frac{l}{min} = 1.18 \frac{m^3}{h}$$

Así podemos calcular el consumo con ambos métodos.

### **5.3. DIMENSIONAMIENTO DEL DIÁMETRO DE LA TUBERÍA.**

Para calcular el diámetro interior de la tubería principal necesario para la distribución de todo el caudal de aire se necesita conocer ciertos parámetros como es, la presión, el caudal de aire que necesita para cubrir los trabajos, la variación de presión presente en la instalación de aire y la longitud de la tubería.

Para dimensionar el diámetro de la tubería se tomara en cuenta el consumo total de aire en la planta más un 100% del consumo de la misma, esto se lo realiza como futuras ampliaciones, o la instalación de nuevos equipos de trabajo.

Los datos de operación son:

$$L = 67.84 \text{ m}$$

$$P_{trabajo} = 6 \text{ bar.}$$

$$\Delta p = 0.1 \text{ bar.}$$

$$V = 12.67 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$V_t = 12.67 + 12.67 = 25.32 \text{ m}^3/\text{h} = 0.00703 \text{ m}^3/\text{s}$$

Podemos calcular el diámetro de la tubería utilizando el nomograma:



$$d = 18 \text{ mm}$$

Utilizando un calculador para el dimensionamiento:

### 9.5.3. Pipe size calculator

Calculator formula:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times \dot{V}^{1,85} \times L}{10^{10} \times \Delta p \times p_{\max}}}$$

Total volume flow V [m <sup>3</sup> /s]	0,00703
Effective pipe length L [m]	67,84
Target pressure loss Δp [bar]	0,1
Compressor cut-out pressure p <sub>max</sub> [bar <sub>abs</sub> ]	6

Get result

Inside diameter of pipeline d<sub>i</sub> **0,0180 m = 18 mm**

Figura LIX. Calculador del diámetro de la tubería.

Fuente: <http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/e/drucklft.e.nsf/358f35f7f4cdf144c1256624006c17cb?OpenForm>.

Calculamos ahora la longitud supletoria de la tubería que corresponde a los elementos que ejercen resistencia al paso del fluido.

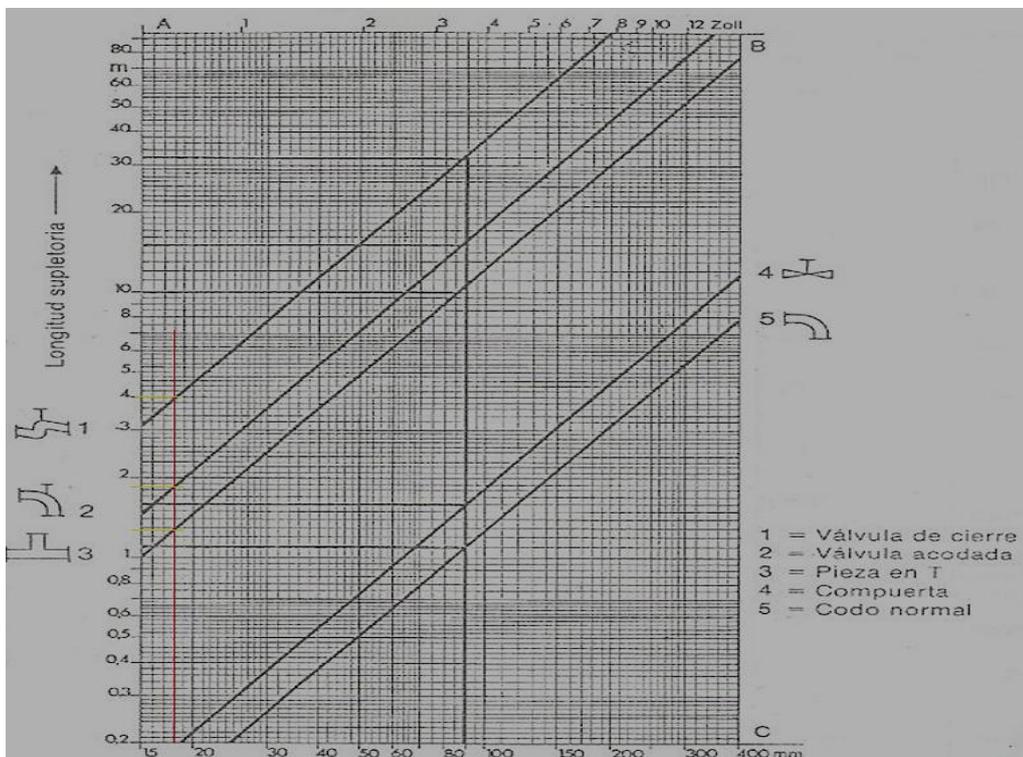


Figura LX. Nomograma donde se calcula las pérdidas en el sistema.

Debido a que los codos y las compuertas son prácticamente cero no se las toma en cuenta, calculando para las tees tenemos lo siguiente:

Contamos con 21 tees por lo tanto tenemos:

Longitud suplementaria= 21 X 1.27=26.67 m

Este valor le añadimos a nuestra longitud inicial y tenemos:

$$L_1 = 67.84 + 26.67 = 94.51 \text{ m}$$

Ahora volvemos a calcular nuevamente el diámetro de la tubería con la longitud suplementaria.

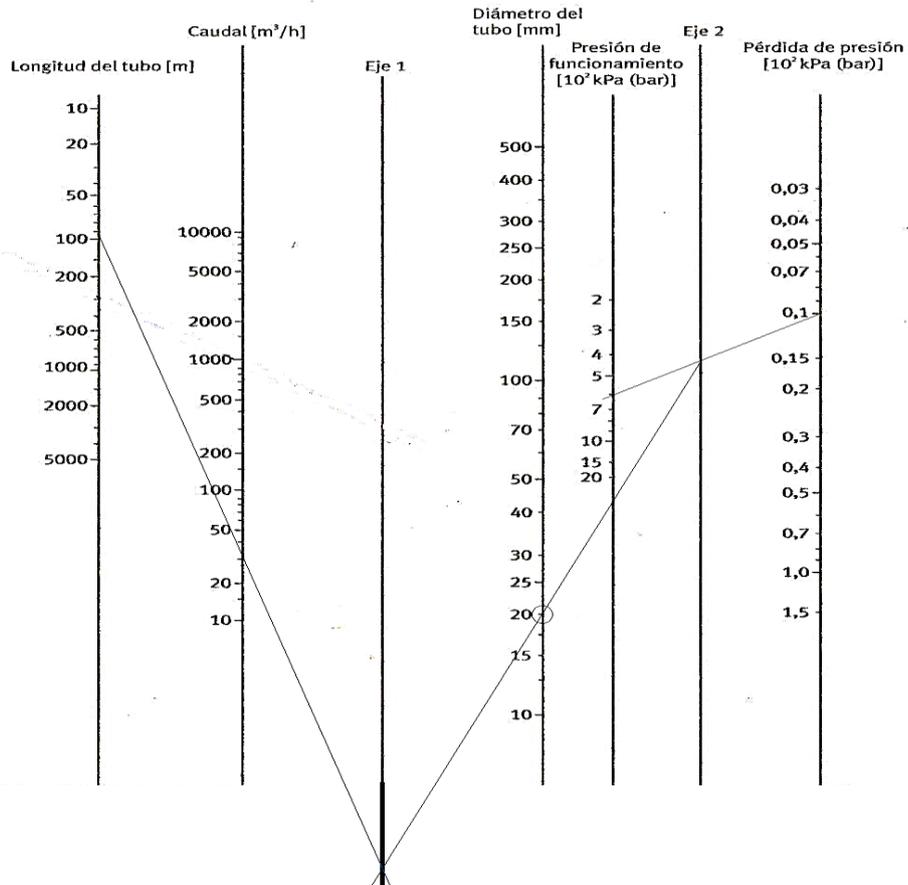


Figura LXI. Diámetro de la tubería con las pérdidas.

Esta vez obtenemos aproximadamente entre 19 a 20 mm de diámetro.

Ahora si calculamos tenemos.

$$d = \sqrt[5]{1.6 \times 10^3 \times Vt^{1.85} \times \frac{L_{Total}}{10^{10} \times \Delta p \times P_1}}$$
$$d = \sqrt[5]{1.6 \times 10^3 \times 0.00703^{1.85} \times \frac{94.51}{10^{10} \times 0.1 \times 7}}$$
$$d = 19 \text{ mm}$$

Utilizando un calculador tenemos:

### 9.5.3. Pipe size calculator

Calculator formula:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1.6 \times 10^3 \times \dot{V}^{1.85} \times L}{10^{10} \times \Delta p \times p_{max}}}$$

Total volume flow V [m <sup>3</sup> /s]	0.00703
Effective pipe length L [m]	94.51
Target pressure loss Dp [bar]	0.1
Compressor cut-out pressure p <sub>max</sub> [bar <sub>abs</sub> ]	6

Get result

Inside diameter of pipeline d<sub>i</sub> 0,0192 m = 19 mm

Figura LXII. Calculador de la tubería

Ahora debemos seleccionar la tubería de catálogos de fabricantes que más se adapte a nuestras necesidades, siendo esta la de ¾ para la red principal y de ½ para la red secundaria.

## 5.4. DIMENSIONAMIENTO DEL COMPRESOR.

La selección del tipo de compresor y de su capacidad son los parámetros más importantes del diseño de la instalación de aire comprimido.

Para elegir correctamente el tipo de compresor más apropiado conocer el consumo total ya antes obtenido, puesto que todos los elementos neumáticos de una instalación no trabajan generalmente a toda su capacidad al mismo tiempo durante 24 horas del día es habitual definir un factor de carga:

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Consumo de aire en 24 horas}}{\text{Maximo consumo en 24 horas}}$$

Entonces procedemos a calcular el factor de carga para nuestra red, para el efecto consideraremos que nuestra red función 4 horas diarias, con esto tenemos:

$$\text{Factor de carga} = \frac{4 \text{ h}}{24 \text{ h}} = 0.16 = Cu$$

Luego procedemos a seleccionar el coeficiente de simultaneidad que para el efecto vamos a suponer que todas las maquinas funcionan a la vez. El coeficiente lo seleccionamos de la siguiente tabla considerando que tenemos 14 puntos de consumo.

Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad	Cantidad de unidades consumidoras	Factor de simultaneidad
1	1	9	0,73
2	0,94	10	0,71
3	0,89	11	0,69
4	0,86	12	0,68
5	0,83	13	0,67
6	0,80	14	0,66
7	0,77	15	0,65
8	0,75	100	0,20

Tabla XXV. Factor de simultaneidad de nuestra red.

Tenemos que para nuestra red dicho coeficiente es igual a 0.66.

Ahora procedemos a calcular el consumo con los datos antes obtenidos y tenemos en condiciones normales:

$$Q = 12.67 \text{ m}^3/\text{h} \times 6 \text{ bar} = 72.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{(comp)} = Cs(Q_1Cu + Q_2Cu + \dots)$$

Dónde:

$Q_{(comp)}$  = consumo del compresor

Cs= coeficiente de simultaneidad

$Q_1, Q_2, \dots$  = consumo de cada uno de los equipos.

Cu= coeficiente de uso.

$$Q_{(comp)} = 0.66(76.02 \text{ m}^3/\text{h} \times 0.16)$$

$$Q_{(comp)} = 8.02 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ahora calcularemos el caudal que debe proporcionar el compresor.

Debemos considerar el coeficiente de mayoración para futuras ampliaciones (CMA) que normalmente se considera un 30% en futuras ampliaciones. Dicho valor sería igual a 1.3.

También debemos considerar el coeficiente de mayoración por fugas (CMF) que es 1.05 para sistemas de aire.

El coeficiente de funcionamiento del compresor (Ccc) es otro parámetro muy importante que determina el tiempo de funcionamiento del compresor.

El compresor está en marcha la mitad del ciclo, por tanto el coeficiente será igual a 2.

$$Q_{(comp \text{ total})} = 0.66 \times 1.05 \times 1.3 \times 2 \times 8.02 \text{ m}^3/\text{h} = 14.45 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$Q_{(comp \text{ total})} = 8.51 \text{ cfm}$$

Una vez obtenidos estos datos vamos a los catálogos de compresores y seleccionamos uno que se adapte a nuestras necesidades.

Caudal			Longitud										Compresor (Kw)
Nm³/h	Nl/min	cfm	164ft 50m	328ft 100m	492ft 150m	984ft 300m	1640ft 500m	2460ft 750m	3280ft 1000m	4265ft 1300m	5249ft 1600m	6561ft 2000m	
10	167	6	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	25	25	25	1,5 - 7,5
30	500	18	16,5	16,5	16,5	25	25	25	25	25	25	40	
50	833	29	16,5	25	25	25	25	25	25	40	40	40	7,5 - 30
70	1167	41	25	25	25	25	40	40	40	40	40	40	
100	1667	59	25	25	25	40	40	40	40	40	40	63	
150	2500	88	25	40	40	40	40	40	40	63	63	63	
250	4167	147	40	40	40	40	63	63	63	63	63	63	30 - 75
350	5833	206	40	40	40	63	63	63	63	63	63	76	
500	8333	294	40	40	63	63	63	63	63	76	76	76	
750	12500	441	40	63	63	63	63	76	76	76	76	100	
1000	16667	589	63	63	63	63	63	76	76	100	100	100	

Tabla XXVI. Selección del compresor.

Como podemos observar en la tabla nuestro compresor debe estar en el orden de los 18 cfm a una potencia de entre 1.5 a 7.5 Kw. En nuestro caso encontramos un compresor de 10.2 cfm de 3.2 a 6 hp.



Caudal: 10.2 CFM @ 90 PSI ó 11.7 CFM @ 40 PSI

Motor: 3.2 / 6.0 HP Peak

Presión Máxima: 135 PSI

Voltaje: 220V / 60 HZ

Capacidad del Tanque: 225.0 LTS

Tipo de Uso: Industrial - Diario

Compresor Monofásico

Transmisión: Por Banda

Figura LXIII. Compresor utilizado en la red.

Fuente: Catalogo del fabricante.

## 5.5. IMPLEMENTACION DE LA RED DE DISTRIBUCION NEUMATICA.

Para implementación de la red de distribución neumática debemos considerar la instalación de la red principal, instalación de las tuberías de servicio y por supuesto la instalación del compresor.

### 5.5.1. INSTALACION DE LA TUBERIA PRINCIPAL.

Para la instalación de la tubería principal ya calculada utilizamos tubería galvanizada de  $\frac{3}{4}$  de pulgada la cual estará sostenida por soportes que mejor se adecua a nuestra red.

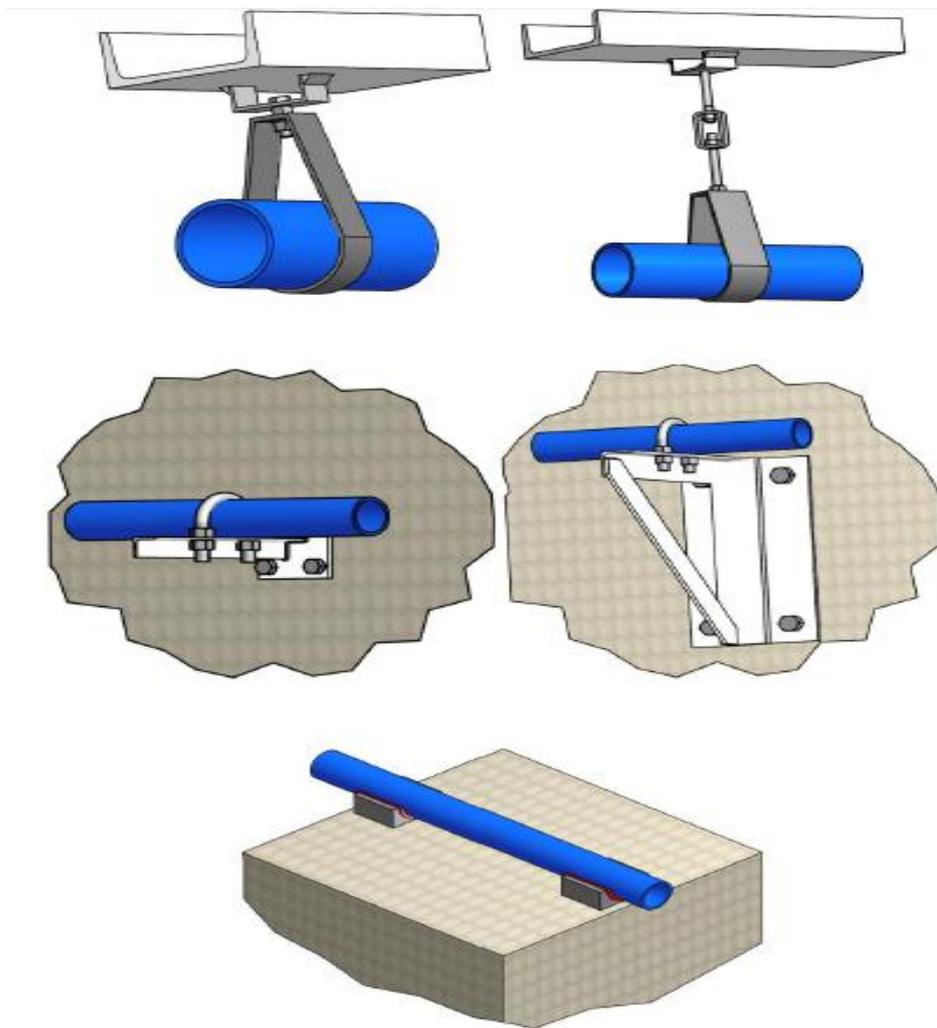


Figura LXIV. Tipos de soportes.

Par nuestra instalación utilizamos el soporte de la que se muestra en la siguiente figura.  
Para tener la seguridad necesaria de que sostendrá nuestra red.

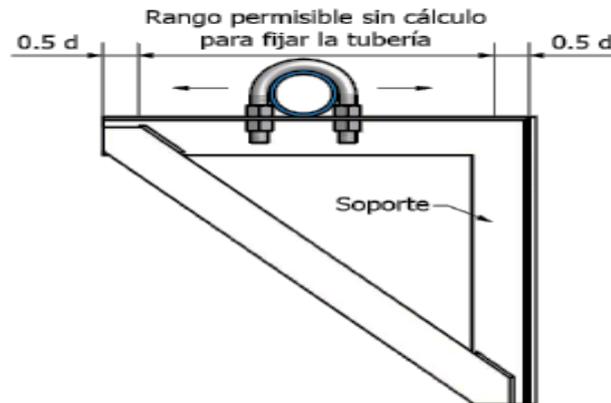


Figura LXV. Tipo de soporte utilizado.

Luego procedemos a montar la tubería:

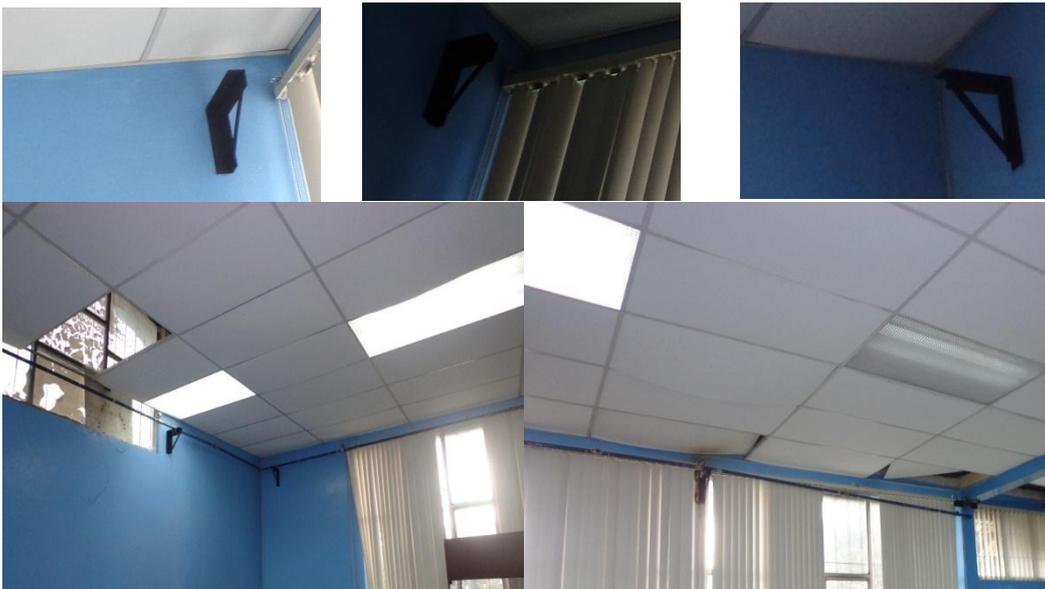


Figura LXVI. Montaje de la tubería sobre los soportes.

### 5.5.2. INSTALACION DE LA TUBERIA DE SERVICIO.

Para la instalación de la tubería de servicio se tomó el diámetro mínimo que corresponde a  $\frac{1}{2}$  pulgada.



Figura LXVII. Instalación de la tubería de servicio y dispositivos de control en los puntos de consumo.

### 5.5.3. INSTALACION DEL COMPRESOR.

Para la instalación del compresor se buscó un lugar adecuado en donde colocarlo para aislar el ruido que este produce y no producir daños a los estudiantes.



Figura LXVIII. Instalación del compresor.

Al final se instaló todos las mangueras en espiral para los puestos de trabajo así como los acoples rápidos además se pintó la tuberías de acuerdo a la norma INEN 440. Que

definen los colores, con las aplicaciones y sus significados para reconocer las tuberías que transportan fluido, tanto en tierra como a bordo de barcos.

FLUIDO	CATEGORIA	COLOR
AGUA	1	VERDE
VAPOR DE AGUA	2	GRIS PLATA
AIRE Y OXIGENO	3	AZUL
GASES COMBUSTIBLES	4	AMARILLO OCRE
GASES NO COMBUSTIBLES	5	AMARILLO OCRE
ACIDOS	6	ANARANJADO
ALCALIS	7	VIOLETA
LIQUIDOS COMBUSTIBLES	8	CAFÉ
LIQUIDOS NO COMBUSTIBLES	9	NEGRO
VACTIO	0	GRIS
AGUA O VAPOR CONTRA INCENDIOS	-	ROJO DE SEGURIDAD
GLP (GAS LICUADO DE PETROLEO)	-	BLANCO

Tabla XXVII. Clasificación de fluidos.



Figura LXIX. Instalación completa del laboratorio.

## **CAPITULO VI: COSTO DE LA RED DE DISTRIBUCION NEUMATICA; COMPROBACION DE LA HIPOTESIS.**

En este apartado determinaremos el costo real que se requirió para el diseño y la implementación de la red de distribución neumática.

### **6.1. MATERIA PRIMA DIRECTA.**

El costo requerido para la compra de los elementos necesario para elaborar nuestra red de distribución neumática es:

Ítems	Descripción.	COSTO
1	TUBOS/ACCESORIOS.	438.31
2	COMPRESOR/MANGUERA.	906.00
3	FRL/MANOMETRO.	163.33
4	ANGULO/PLATINA.	29.38
5	REDUCCIONES.	15.82
6	CABLE/GRILLETES.	20.39
7	CABLE CONCENTRICO.	8.00
8	CAJA DE PASO.	8.00
9	ENCHUFE 220V.	11.00
	<b>VALOR TOTAL</b>	<b>1590.23</b>

Tabla XXVIII. Materia prima directa.

## 6.2. MATERIA PRIMA INDIRECTA.

Ahora describimos los costos indirectos necesarios para realizar el proyecto.

Ítems.	Descripción.	Costo.
1	VARILLA/TEFLON/TACO.	39.33
2	GUAYPE/ESMALTE/THIÑER.	8.45
3	ALQUILER TALLER.	25.00
4	PERMATEX/PERNOS.	1.70
VALOR TOTAL		74.48

Tabla XXIX. MATERIA PRIMA INDIRECTA.

## 6.3. MANO DE OBRA.

Ahora describimos los costos de mano de obra que nos sirven para obtener el costo real de nuestro proyecto.

CANTIDAD.	FUNCION	COSTO
1	TECNICO INSTALADOR.	300.00
VALOR TOTAL.		300.00

Tabla XXX. Mano de obra.

## 6.4. GASTOS VARIOS.

La construcción de la red de distribución de aire, supone algunos gastos extras que se detallan a continuación con su respectivo valor.

ITEMS	DESCRIPCION	COSTO
1	INTERNET	50.00
2	TRANSPORTE	60.00
3	VARIOS	40.00
VALOR TOTAL		150.00

Tabla XXXI. Gastos varios.

## 6.5. VALOR TOTAL DE LA RED DE DISTRIBUCION DE AIRE.

Al final una vez detallados los valores anteriores se llega a determinar el costo total que se necesitó para la implementación de la red de distribución neumática.

DESCRIPCION.	COSTO
MATERIA PRIMA DIRECTA.	1590.23
MATERIA PRIMA INDIRECTA.	74.98
MANO DE OBRA.	300.00
GASTOS VARIOS.	150.00
VALOR TOTAL	2115.21

Tabla XXXII. Costos totales de la red de distribución neumática.

La red de distribución neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática de la EIE.CRI. Está valorada en un costo total de \$2115.21 (dos mil ciento quince con veinte y un centavos de dólares).

## 6.6. COMPROBACION DE LA HIPOTESIS.

Para saber si la red satisface el aprovechamiento de todos los equipos con que cuenta el laboratorio, se debe comprobar la variación de presión en los puntos de consumo para conocer que la red no tiene caídas de presión que pueda dificultar el trabajo de los equipos.

Para el caso se tomó la presión en diferentes tiempos considerando el ciclo de trabajo del compresor proporcionado por el fabricante (30 min “Anexo 3”). Para poder observar los cambios de presión en los puntos de consumo.



Figura LXX. Presión del tanque y presión de la línea respectivamente.

Los datos fueron tomados por la consideración de que sucede antes del ciclo de trabajo y después de esta.

Puntos de consumo	Tiempos estimados para el análisis			
	10 min	20 min	50 min	1 h 20 min
<b>Presión del compresor</b>	105 psi	105 psi	105 psi	105 psi
<b>Punto de consumo 1</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 2</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 3</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 4</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 5</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 6</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 7</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 8</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 9</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 10</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 11</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Punto de consumo 12</b>	100 psi	100 psi	100 psi	100 psi
<b>Caída de presión</b>	5 Psi			

Tabla XXXIII. Caída de presión en la red.

Mediciones en los puntos de consumo:



Figura LXXI. Mediciones de presión en puntos consumidores.

Los valores en la tabla corresponden a los datos medidos. Con esta tabla comprobamos que no existen fugas que comprometan la red permitiendo que no haiga caídas de presión más la que exista entre la línea principal de la red y la salida del compresor.

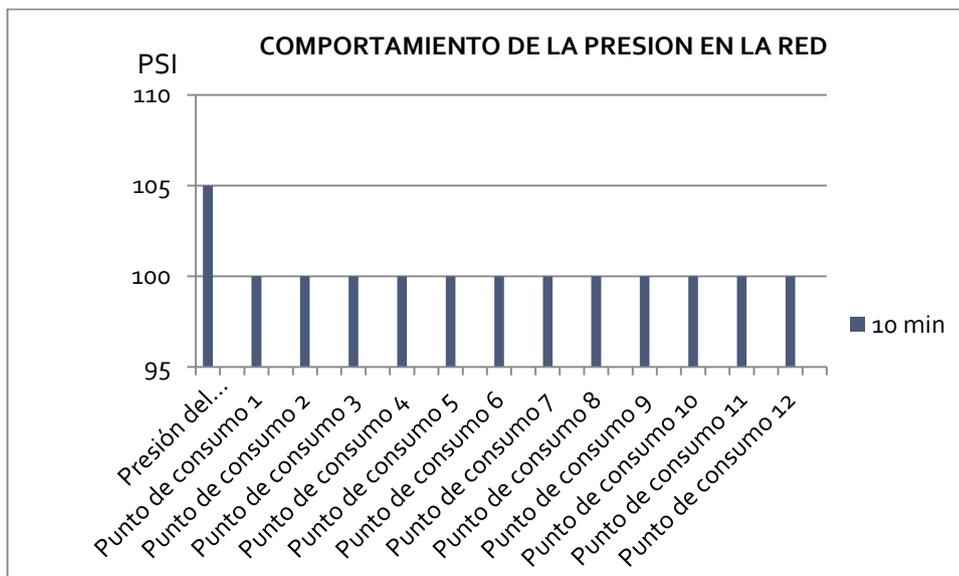


Figura LXXII. Comportamiento de la presión en la red 10 MIN.

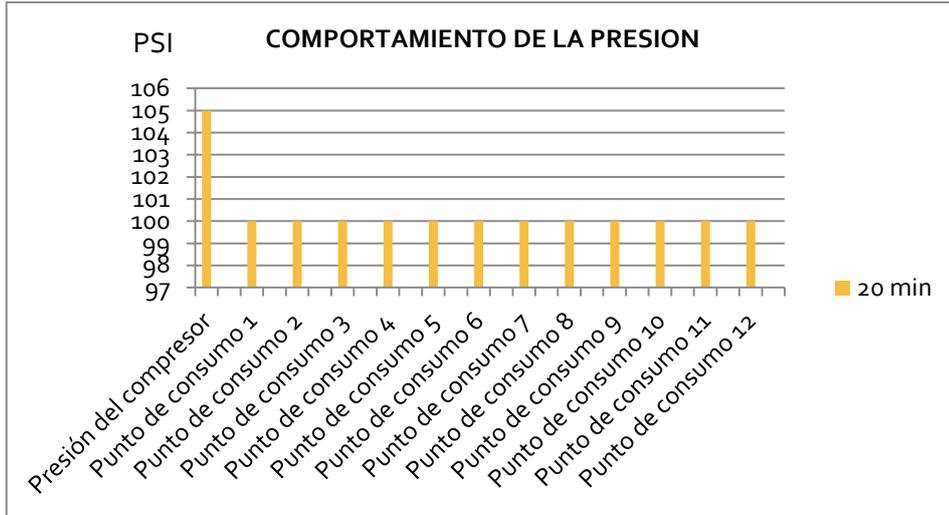


Figura LXXIII. Comportamiento de la presión en 20 min.

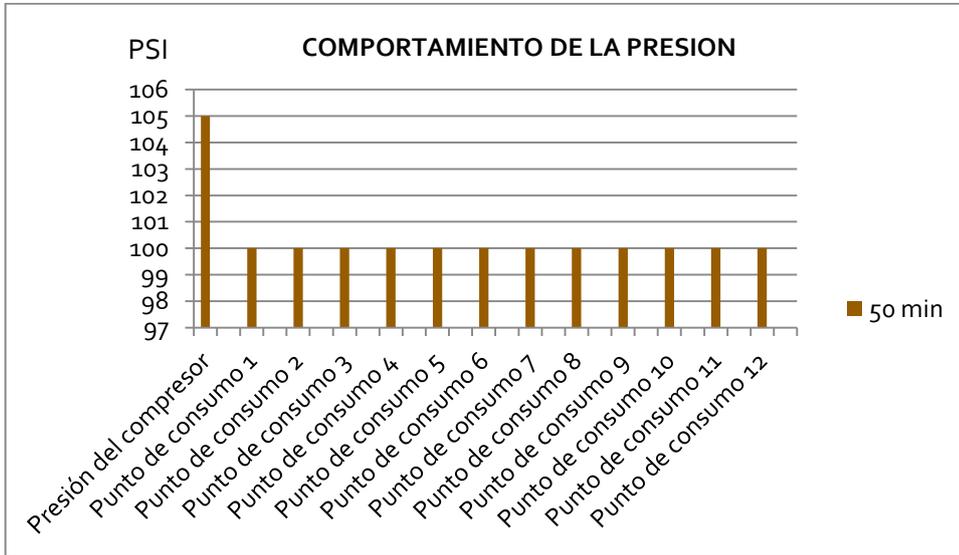


Figura LXXIV. Comportamiento de la presión en 50 min.

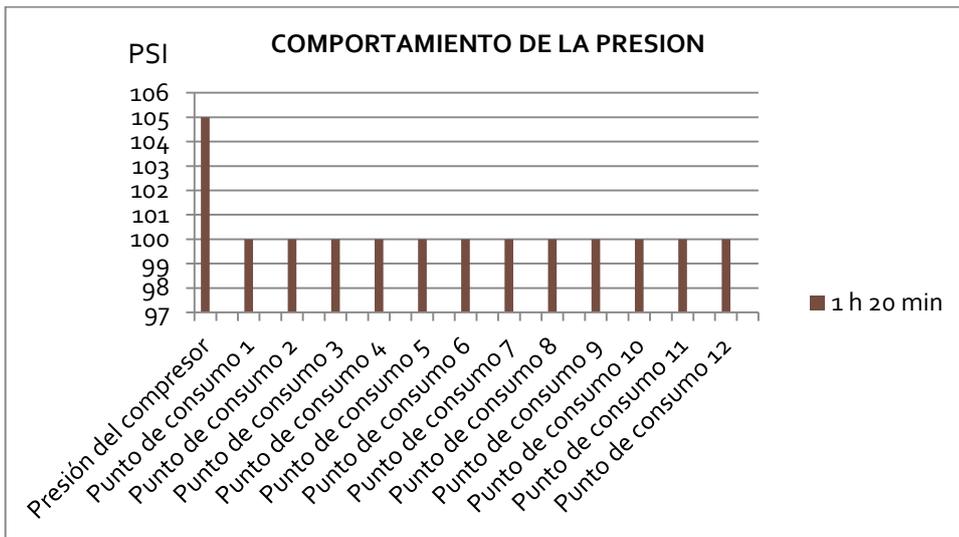


Figura LXXV. Comportamiento de la presión en 1h 20min

Como podemos ver la red proporciona un suministro constante a cada uno de los puntos, al momento de conectar los equipos varía la presión debido al consumo pero este se comporta de manera proporcional. Gracias a las unidades de mantenimiento los puntos de consumo se regulan a la presión de trabajo que en nuestro caso sería 6 bares, por tanto el compresor está regulado para trabajar a una presión máxima de 7 bares y una mínima de 6 bares, logrando así que la presión no disminuya. En caso de bajar la presión lo que ocurriría es que el compresor se active para compensar la caída de presión estabilizando el sistema.

## CONCLUSIONES:

- ❖ Se ha determinado que los elementos necesarios para la red neumática son tubería, accesorios (codos, tees, válvulas), compresor, depósito, además de elementos de seguridad como unidades de mantenimiento, entre otros.
- ❖ La red principal está diseñada para abastecer todo el anillo y puntos de consumos hasta el más lejano.
- ❖ Se ha dimensionado las tuberías con el fin de evitar caídas de presión y pérdidas en la red, por lo que el diámetro establecido para la tubería principal es de  $\frac{3}{4}$ " tomando en cuenta un 100% adicional del consumo total de aire, en caso de futuras ampliaciones.
- ❖ El diámetro dimensionado para la red secundaria o de consumo es de  $\frac{1}{2}$ " de acuerdo a los cálculos realizados para los puntos de consumo.
- ❖ En la red existen puntos de condensado para drenar el agua que circula por las tuberías para evitar posibles inconvenientes que puedan provocar pérdidas de potencia.
- ❖ Se determinó que la producción de aire que realiza el compresor, es suficiente para abastecer a todos los módulos didácticos con los que cuenta el laboratorio de neumática e hidráulica de la EIE-CRI.
- ❖ Se dimensionó tanto tuberías, acumuladores y los equipos complementarios considerando la proyección de crecimiento.
- ❖ Para comprimir aire se requiere de energía, las fugas son pérdidas de energía que a la larga se involucra con un alto costo de dinero desperdiciado, por lo tanto el ahorro empieza desde el momento en que se ataca las fugas.

## **RECOMENDACIONES:**

- ❖ Para realizar un dimensionamiento de una red de aire comprimido, se debe tener conocimiento de todos los conceptos básicos de neumática y los criterios adecuados para poder tomar decisiones que no afecten el buen desempeño de los equipos.
- ❖ Se recomienda que la instalación del compresor se ubique en un lugar adecuado, alejado del área de trabajo y del personal humano, tanto para trabajos de mantenimiento y como medida de seguridad hacia los estudiantes por el ruido que genera el mismo.
- ❖ Dimensionar los acoples y mangueras de conexión de manera adecuada ya que en estos se producen las mayores caídas de presión.
- ❖ Para el cálculo de caudales y presiones debe tenerse un buen manejo de las unidades, para que no existan confusiones entre datos de cálculo.
- ❖ La instalación de las tuberías en la planta es recomendable una inclinación del 1 al 2% en el sentido del aire para evacuación de condensado, instalando al final de la línea una válvula de purga evitando que el agua fluya a través de la toma de aire.
- ❖ Para el diseño de una red, es recomendable diseñar la red de acuerdo a la capacidad del compresor y a los consumos, un tamaño diferente causa un aumento en la pérdida y la caída del rendimiento.
- ❖ Construir los soportes para sostener las tuberías de tomas de aires, como también los anclajes para sostener el compresor. Para evitar la transmisión de vibraciones desde el compresor a la tubería.

- ❖ Tener un inventario físico de los módulos neumáticos con sus respectivos catálogos, ya que así se tendría mayor facilidad a la información.

## **RESUMEN:**

Se diseñó e implementó una red de distribución neumática para el laboratorio de hidráulica y neumática de la ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES de la FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA; ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO.

Para el desarrollo del proyecto se realizó un estudio de campo, que permitió determinar el tipo de sistema de distribución, siendo este de anillo cerrado. También se pudo conocer la Tubería principal que necesitamos que es de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, tuberías de servicio de  $\frac{1}{2}$  pulgada y Además se determinó que se necesitaba un compresor de 3.5 hp a 10.2 cfm. Se reguló el aire para que a su salida tenga 7 bares para el servicio de los módulos de entrenamiento del laboratorio. Con estos datos se pudo seleccionar, adaptar, diseñar e implementar nuestro sistema de distribución neumática.

La red principal ha sido diseñada con el fin de abastecer el anillo y puntos de consumo más lejanos. Se ha dimensionado las tuberías con el fin de evitar caídas de presión y pérdidas en la red.

Se recomienda el uso de la red para las prácticas de laboratorio ya que esta mejora la modularidad al utilizar los equipos, permitiendo a su vez mejorar el aprendizaje de una forma más dinámica.

Es recomendable en caso de posibles ampliaciones tener en cuenta la capacidad del compresor para poder abastecer toda la red, además de tener en cuenta el consumo de aire que necesitan los equipos que se conecten al sistema.

## **SUMMARY:**

They design and implement a network of pneumatic distribution for hydraulic and pneumatic Laboratory SCHOOL OF ELECTRONICS AND CONTROL ENGINEERING FACULTY INDUSTRIAL NETWORKS COMPUTER AND ELECTRONICS of CHIMBORAZO POLYTECHNIC.

For the development of this Project a field study was made, which allowed to identifier the type of distribution system, being founded the closed ring, it was also found could that we need header piping of  $\frac{3}{4}$  inch, a service pipe  $\frac{1}{2}$  inch and also it was determined that a compressor 3.5 hp to 10.2 cfm was needed. The air was regulated so that it has an exit of 7 bars for the laboratory service modules. With these data it was possible to select, adapt, designing and implementing our pneumatic distribution.

The core network has been designer in order to supply the ring and point more distant consumption. The pipe is sized so as to avoid pressure drops and losses network. Using the network for laboratory practice is recommended as this improves the modularity use of the equipment, allowing the improvement of learning in a dynamic way.

It is recommended if possible extensions consider the compressor capacity to supply the entire network, in addition to consider air consumption needed by computers connected to the system.

## **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 sometido a una presión superior a la atmosférica, es una fuente de energía obtenida con compresores, que sirve como agentes de transporte a través de tubos para hacer funcionar herramientas neumáticas.

*Automatización.*- Proceso de mecanización de las actividades industriales para producir la mano de obra, conseguir que sea más rápido y más seguro.

*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<sup>3</sup> de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada.

*Humedad absoluta.*- Cantidad de agua contenida en un m<sup>3</sup> de aire.

*Presión.*- Se denomina presión a la fuerza por unidad de superficie ejercida por un medio sobre su límite. Las unidades comunes son bar y psi.

*Presión de servicio.*- Es proporcionada por el compresor, y se encuentran en las líneas de aire comprimido que suministran a los elementos consumidores.

*Temperatura.*- Es el índice de energía interna rotativa de la masa. Las unidades mas usadas °C y °F.

*Volumen.*- Espacio ocupado por un cuerpo o sustancia. Las unidades mas comúnmente utilizadas tenemos m<sup>3</sup> y pie<sup>3</sup>.

*Final de Carrera.*- Es un pequeño interruptor eléctrico que requiere un contacto físico y una pequeña fuerza de acción para cerrar los contactos.

*Longitud de la carrera.*- Medida (en mm) de la carrera.

*Lubricador.*- Aporta a los dispositivos neumáticos (cilindros, motores, válvulas) el lubricante necesario para su funcionamiento correcto.

*Manómetro.*- Aparato para la medida e indicación de la presión del aire.

*Neumática.*- Se refiere al estudio del movimiento del aire

*Pistón.*- Parte móvil en el cilindro que forma un cierre hermético contra la pared interna del tubo del cilindro. Transforma fuerzas de compresión en fuerzas de movimiento (energía estática en energía mecánica).

*Presostato.*- Interruptor de presión.

*Purga.*- Escape al exterior del aire comprimido de los elementos neumáticos. El aire comprimido queda sin presión y asimilado a la presión atmosférica.

*Purgador automático de agua.*- Funciona automáticamente por una válvula de flotador de vaciado de la condensación y extrae las partículas de suciedad.

*Silenciador.*- Aparato para disminuir el ruido producido por el escape exterior del aire comprimido.

*Sistema Neumático.*- Todo aquel sistema que funciona en base a aire comprimido

*Tapón.*- Son accesorios utilizados para bloquear o impedir el paso o salida de fluidos en un momento determinado. Mayormente son utilizados en líneas de diámetros menores.

*Tee.*- Son accesorios que se fabrican de diferentes tipos de materiales, aleaciones, diámetros y se utiliza para efectuar fabricación en líneas de tubería.

## **BIBLIOGRAFÍA:**

1. **ATLAS COPCO.**, Manual de fundamentos de aire comprimido., 3ª.ed., Madrid-España., Technical Writing., Suecia., 1979., Pp 160.
2. **CARNICER, E.**, Aire comprimido teoría y cálculo de las instalaciones., 4.ed., Barcelona-España., Gustavo Gili., 1977.,Pp 120-145
3. **CISNEROS, L.**, Manual de neumática., 3ª. ed., Barcelona-España., Milanesada, 1998., Pp. 21-23.
4. **CRANE.**, Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías., 4.ed., BUENOS AIRES-Argentina., McGraw-Hill., 2006., Pp. 215.
5. **DEPERT, W. y STOLL, K.**, Dispositivos neumáticos: Introducción y Fundamentos., 3.ed.,Barcelona-España., Boixareu., 1991., Pp 188
6. **DEPERT W. / K. Stoll.**, Aplicaciones de Neumática., 2.Ed., Barcelona-España., Marcombo., 1991., Pp 162.
7. **HESSE, Stefan.**, Aire comprimido Fuente de Energía., Alemania., Festo AG &Co., 2002., Pp 12-24.
8. **MEIXNER H. Y KOBLER.**, Iniciación al personal de montaje y mantenimiento neumática., 3. ed., FestoDidactic., 1989., Pp. 243.

9. **Juárez Pizza Pedro Antonio.**, Diseño, montaje y mantenimiento de sistemas de aire comprimido.(Tesis) ( Ing. Mec.), Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería., 1979. Pp 82.
10. **PARKER**, Hannifin., Ind. Tecnología pneumática industrial., Brasil, 2000., Pp 85-90.
11. **REDES DE DISTRIBUCIÓN NEUMÁTICA.**

<http://www.stilar.net/archivos%20web/eficiencia%20compres%20y%20bombeo.pdf>

13/06/2013

[http://ar.kaeser.com/current\\_Affairs/Press/Press-C-Mobilair122.asp](http://ar.kaeser.com/current_Affairs/Press/Press-C-Mobilair122.asp)

15/06/2013

<http://www.sapiens.itgo.com/neumatica/>

17/06/2013

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1185/1/CD-2634.pdf>

17/06/2013

<http://es.scribd.com/doc/133323594/PFC-NEUMATICA-Alejandro-Buenache>

17/06/2013

<http://es.scribd.com/doc/76541705/08-0429-M>

19/06/2013

<http://www.cnsec66.com/en/public/uploads/files/2013/05/20130507110945185.pdf>

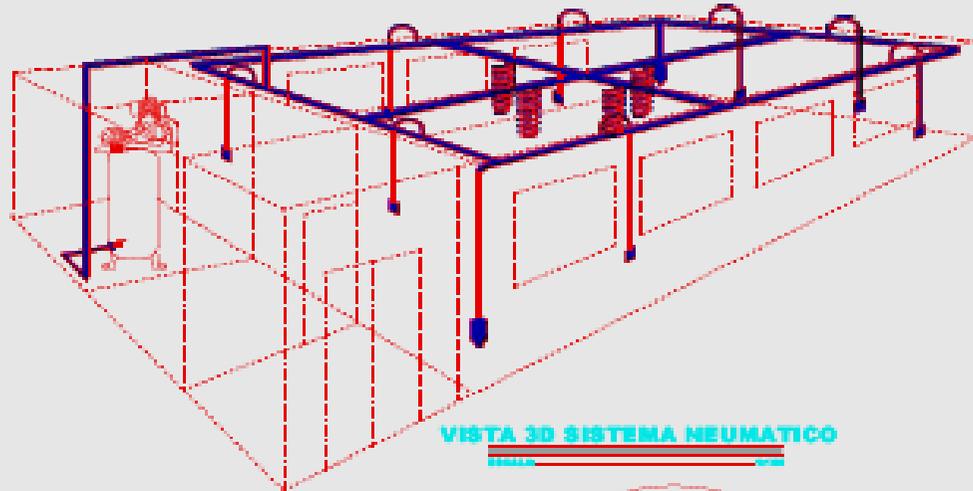
30/07/2013

<http://www.drucklufttechnik.de/www/temp/e/drucklftf.nsf/358f35f7f4cdf144c1256624006c17cb?OpenForm>

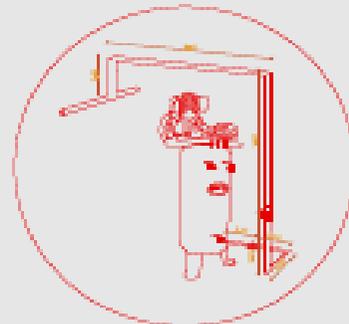
# **ANEXOS**

# Planos

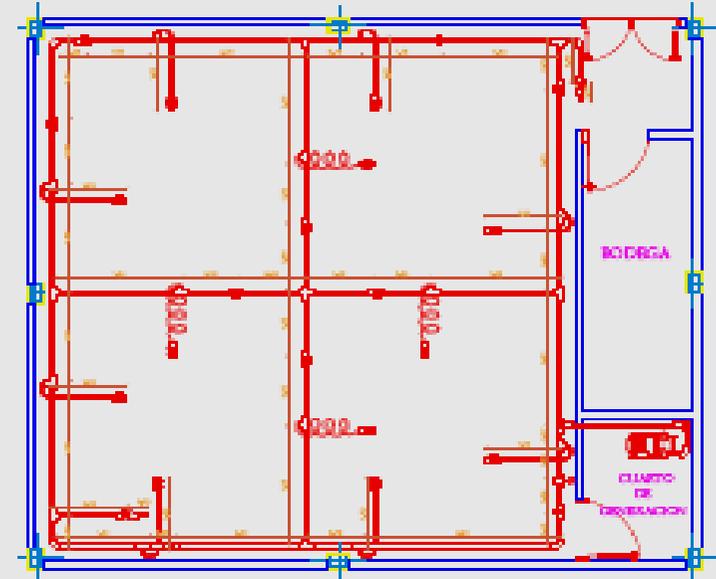
*SISTEMA DE DISTRIBUCION NEUMÁTICA  
LABORATORIO DE HIDRAULICA Y NEUMÁTICA.*



**VISTA 3D SISTEMA NEUMÁTICO**



**COMPRESOR DE GENERACION NEUMÁTICA**



**VISTA SUPERIOR SISTEMA NEUMÁTICO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE INFORMATICA Y ELECTRONICA**

**ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA EN CONTROL Y REDES INDUSTRIALES**

**FECHA:**

**OCTUBRE / 2014**

**FIRMA:**

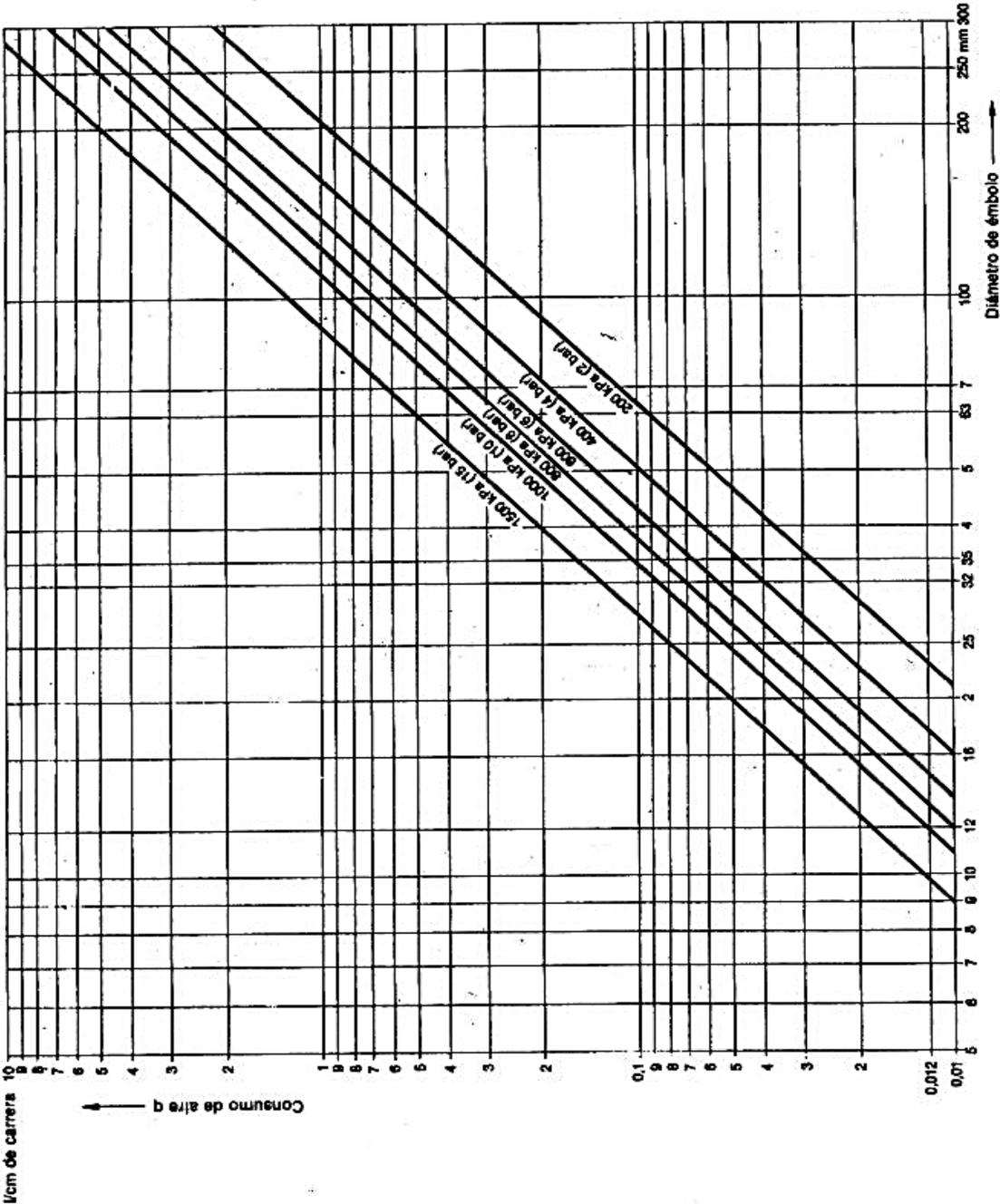
**LUIS GARCIA.**

# ANEXO 1

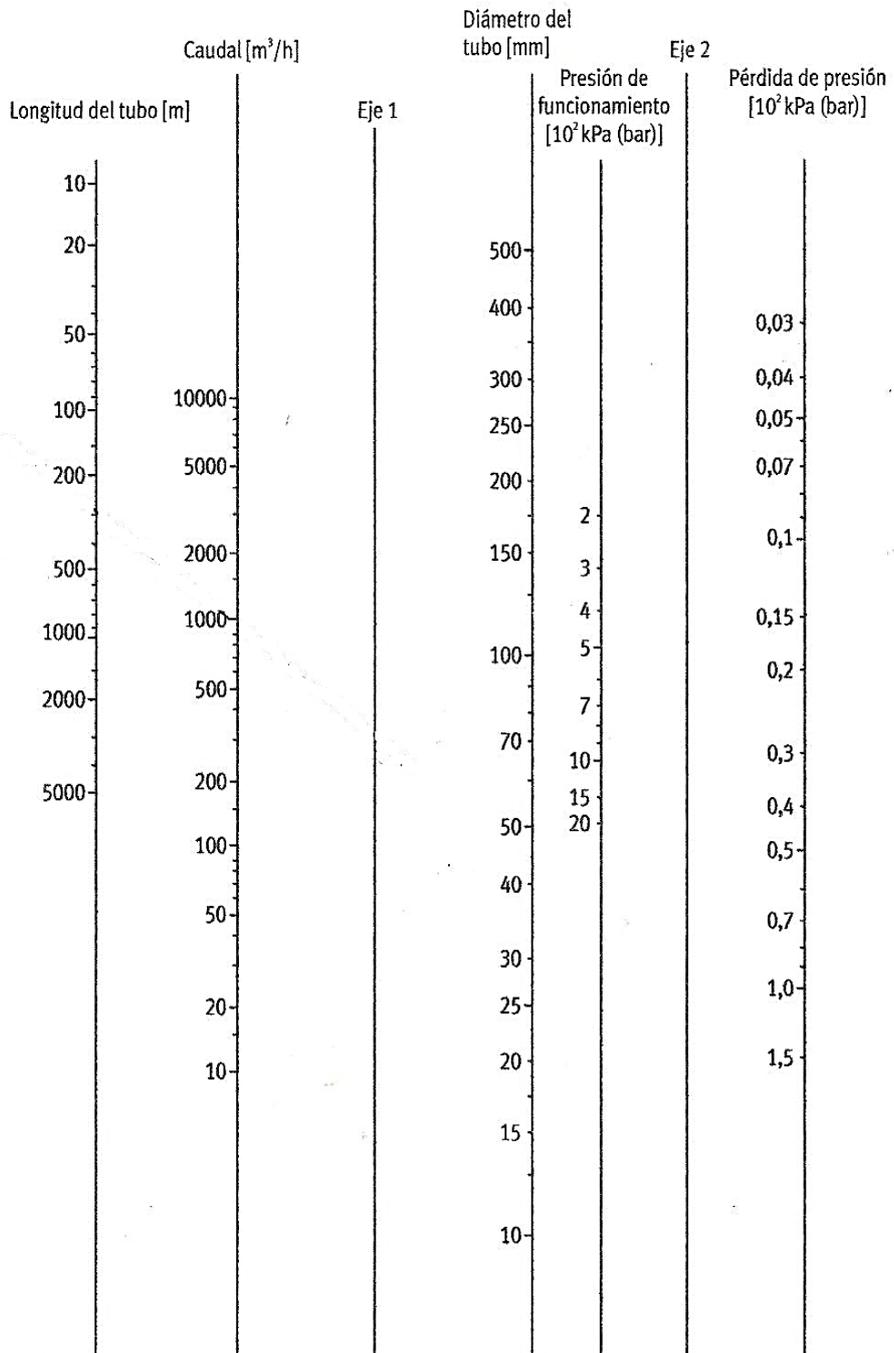
## Nomogramas utilizados

### Consumo de aire:

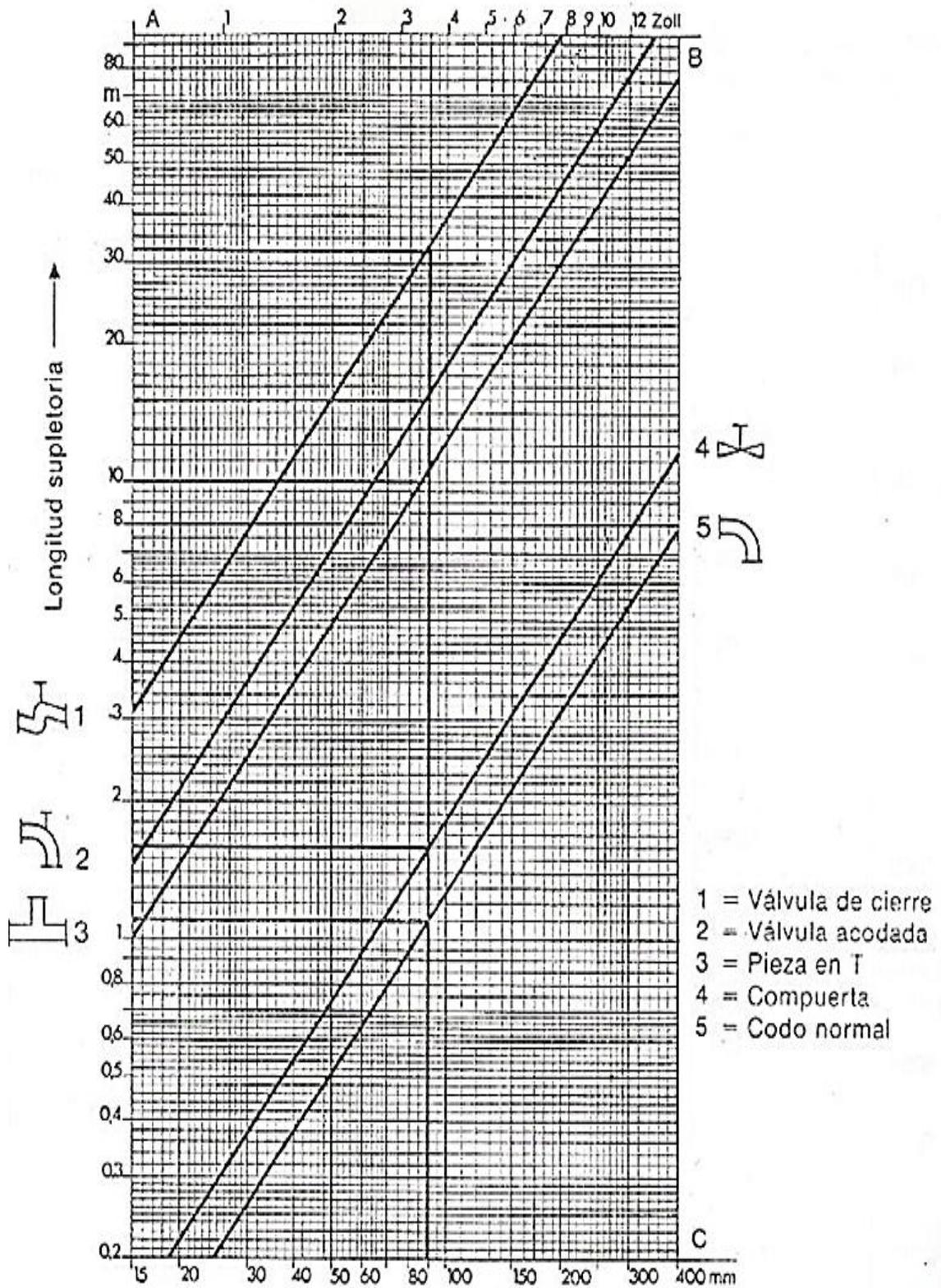
Figura 72: Diagrama de consumo de aire



## Diámetro de la tubería:



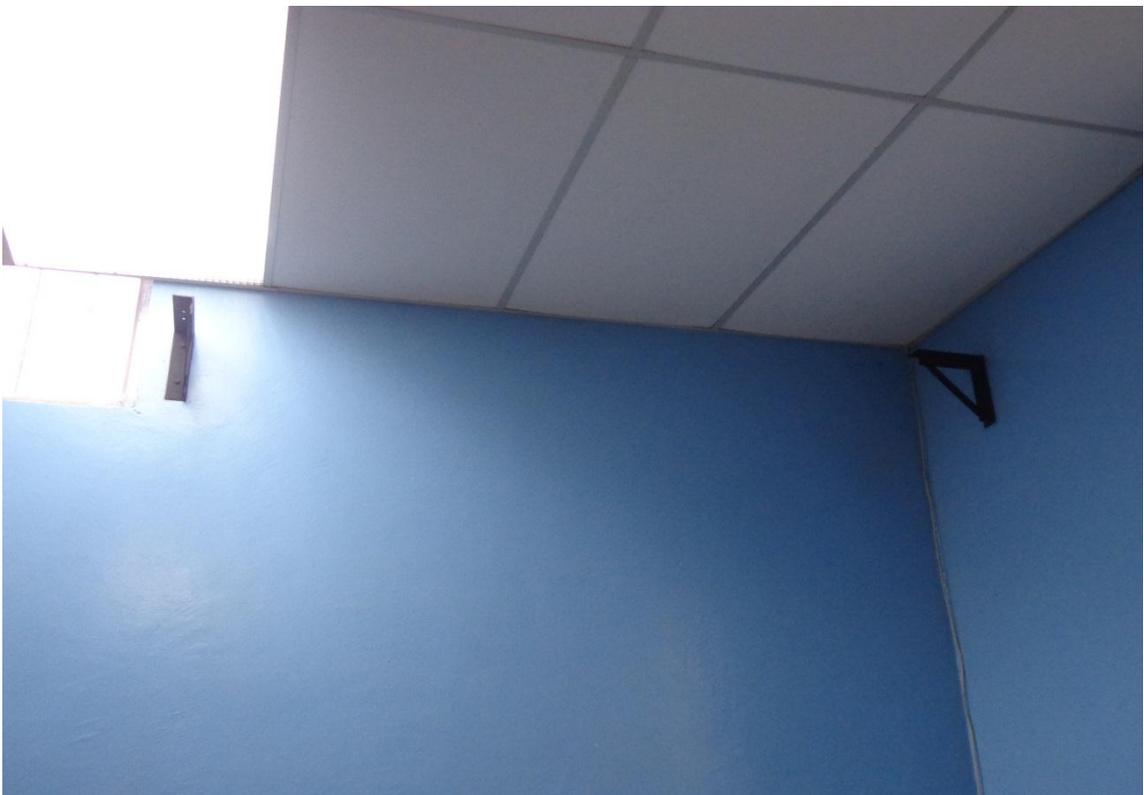
## LONGITUD SUPLEMENTARIA:



## ANEXO 2

### FOTOS DE LA IMPLEMENTACION DE LA RED

#### Instalación de los soportes:



## Montaje de la tubería:



## Montando la tubería:



**Instalando los puntos de servicio:**



**Colocando las mangueras espiraladas y el compresor:**





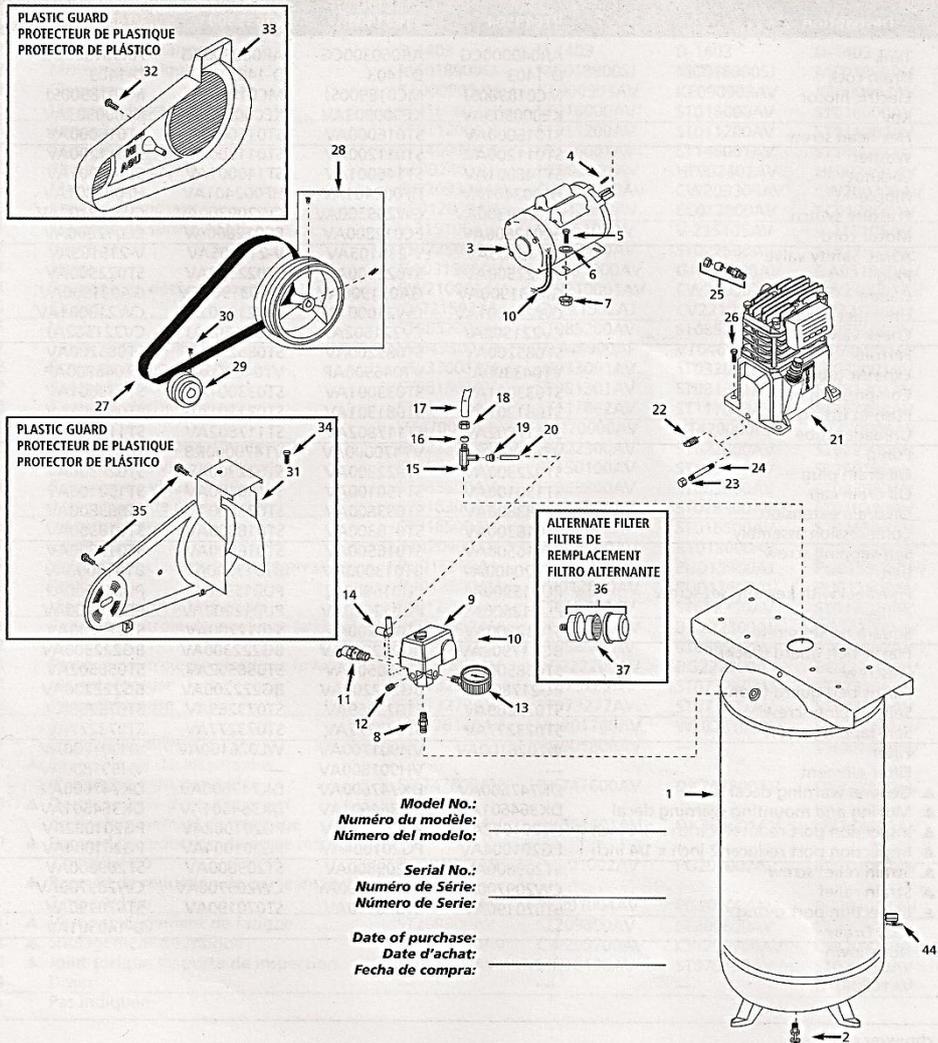
# ANEXO 3

## Compresor:

### Vertical Air Compressors Compresseurs d'Air Verticaux Compressores de Aire Verticais

Replacement Parts List  
Liste de Pièces de Rechange  
Lista de Repuestos

VT619504, VT627505, VT631403,  
VT635500, VT635900



Model No.: \_\_\_\_\_  
 Numéro du modèle: \_\_\_\_\_  
 Número del modelo: \_\_\_\_\_

Serial No.: \_\_\_\_\_  
 Numéro de Série: \_\_\_\_\_  
 Número de Serie: \_\_\_\_\_

Date of purchase: \_\_\_\_\_  
 Date d'achat: \_\_\_\_\_  
 Fecha de compra: \_\_\_\_\_

## Para Ordenar Repuestos o Asistencia Técnica, Sírvase Llamar al Distribuidor Más Cercano a Su Domicilio

Sírvase darnos la siguiente información:

- Número del modelo
- Código impreso
- Descripción y número del repuesto según la lista de repuestos

Dirija toda la correspondencia a:

Campbell Hausfeld  
Attn: Customer Service  
100 Production Drive  
Harrison, OH 45030 U.S.A.

No. de Ref.	Descripción	Número de Parte para Modelos:				Ctd.
		VT619504	VT627505	VT631403	VT635500	
1	Tanque	AR04000CG	AR060300CG	AR060300CG	AR061300CG	1
2	Llave de salida	D-1403	D-1403	D-1403	D-1403	1
3	Motor eléctrico	MC018900SJ	MC018900SJ	MC018900SJ	MC018900SJ	1
4	Chaveta	KE000903AV	KE000903AV	KE000903AV	KE000903AV	1
5	Tornillo de cabeza hex	ST016000AV	ST016000AV	ST016000AV	ST016000AV	4
6	Arandela	ST011200AV	ST011200AV	ST011200AV	ST011200AV	4
7	Tuerca de seguridad	ST146001AV	ST146001AV	ST146001AV	ST146001AV	4
8	Niple	HF002401AV	HF002401AV	HF002401AV	HF002401AV	1
9	Presostato	CW209300AV	CW209300AV	CW209300AV	CW209300AV	1
10	Cordón del motor	EC012800AV	EC012800AV	EC012800AV	EC012800AV	1
11	Válvula de seguridad ASME	V-215105AV	V-215105AV	V-215105AV	V-215105AV	1
12	Enchufe	ST022500AV	ST022500AV	ST022500AV	ST022500AV	1
13	Manómetro	GA031900AV	GA031900AV	GA031900AV	GA031900AV	1
14	Válvula de desfogue	CW210001AV	CW210001AV	CW210001AV	CW210001AV	1
15	Válvula de chequeo	CV221502AJ	CV221502AJ	CV221502AJ	CV221502AJ	1
16	Tapa de contacto	ST085200AV	ST085200AV	ST085200AV	ST085200AV	1
17	Tubo de escape	VT043300AP	VT046900AP	VT046900AP	VT046900AP	1
18	Tuerca de compresión	ST033001AV	ST033001AV	ST033001AV	ST033001AV	1
19	Ajuste de empuje	ST081301AV	ST081301AV	ST081301AV	ST081301AV	1
20	Tubo de salida	ST117802AV	ST117802AV	ST117802AV	ST117802AV	1
21	Cabezal	VT470000KB	VT470000KB	VT470000KB	VT470000KB	1
22	Tapón del drenaje de aceite	ST022300AV	ST022300AV	ST022300AV	ST022300AV	1
23	Tapa del drenaje de aceite	ST150100AV	ST150100AV	ST150100AV	ST150100AV	1
24	Extensión del drenaje de aceite	ST083800AV	ST083800AV	ST083800AV	ST083800AV	1
25	Ensamblaje de compresión	ST018300AV	ST018300AV	ST018300AV	ST018300AV	1
26	Tornillo autorroscante	ST016500AV	ST016500AV	ST016500AV	ST016500AV	4
27	Banda	BT020400AV	BT013000AV	BT013000AV	BT013000AV	1
28	Volante con chaveta y tornillo	PU015900AJ	PU015900AJ	PU015900AJ	PU015900AJ	1
29	Polea	PU012600AV	PU012600AV	PU012600AV	PU012600AV	1
30	Tornillo de cabeza cuadrada	ST012200AV	ST012200AV	ST012200AV	ST012200AV	1
31	Guardacorrea plástico (atrás)	BG217902AV	BG222300AV	BG222300AV	BG222300AV	1
32	Tornillo	ST058502AV	ST058502AV	ST058502AV	ST058502AV	1
33	Guardacorrea plástico (frente)	BG217800AV	BG222200AV	BG222200AV	BG222200AV	1
34	Tornillo autorroscante	ST073269AV	ST073269AV	ST073269AV	ST073269AV	1
35	Tornillo autorroscante	ST073277AV	ST073277AV	ST073277AV	ST073277AV	3
36	Filtro alternante	WL026100AV	VH901700AV	WL026100AV	VH901700AV	1
37	Elemento del filtro alternante	—	VH901800AV	—	VH901800AV	1
38	▲ Juego de etiquetas de advertencias generales	DK747600AV	DK747600AV	DK747600AV	DK747600AV	1
39	▲ Etiqueta de advertencias para mover e instalar la unidad	DK364601AV	DK364601AV	DK364601AV	DK364601AV	1
40	▲ Reductor de orificio de inspección 5,08 cm x 19,1 mm (2 inch x 3/4 inch)	PG201002AV	PG201002AV	PG201002AV	PG201002AV	1
	▲ Reductor de orificio de inspección 5,08 cm x 6,4 mm (2 inch x 1/4 inch)	PG201004AV	PG201004AV	PG201004AV	PG201004AV	1
41	▲ Tornillo del relieve de tensión	ST209800AV	ST209800AV	ST209800AV	ST209800AV	1
42	▲ Relieve de tensión	CW209700AV	CW209700AV	CW209700AV	CW209700AV	1
43	▲ Anillo en o para el orificio de inspección	ST070190AV	ST070190AV	ST070190AV	ST070190AV	2
44	Drenaje	—	—	—	D-140501AV	1
▲	No su muestra					

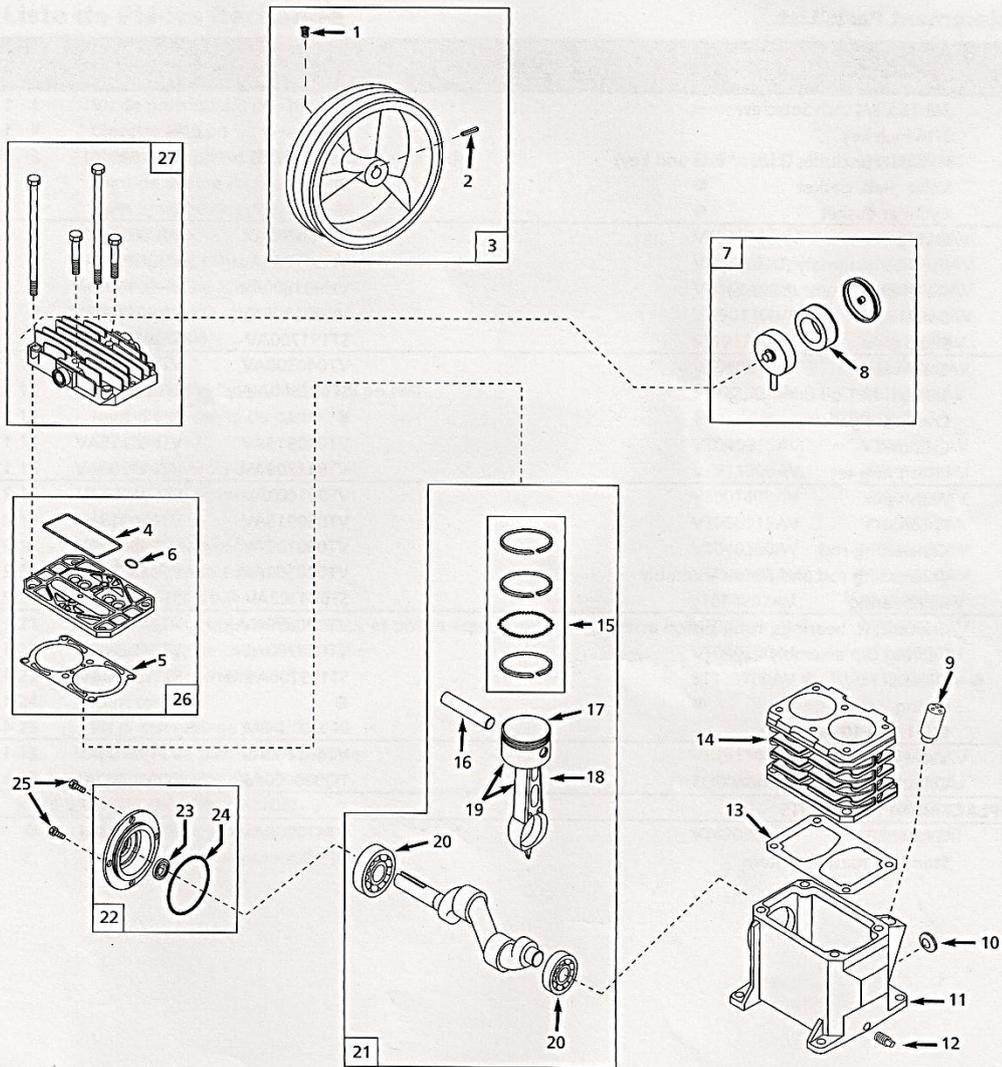
# Air Compressor Pumps

## Pompes pour Compresseurs d'Air

### Compresores de Aire

Replacement Parts List  
 Liste de Pièces de Rechange  
 Lista de Repuestos

VT470000AV, VT472200AJ  
 VT480000AV, VT482200AJ



**Para ordenar repuestos o asistencia técnica, sírvase llamar al distribuidor más cercano a su domicilio**

Sírvase darnos la siguiente información:

- Número del modelo
- Número de serie (de haberlo)
- Descripción y número del repuesto según la lista de repuestos

Dirija toda la correspondencia a:

Attn: Customer Service  
100 Production Drive  
Harrison, OH 45030 USA

**Lista de Repuestos**

No. de Ref.	Descripción	VT470000AV VT472200AJ	VT480000AV VT482200AJ	Ctd.
1	Tornillo 9,5 mm (3/8 pulg.) -16 x 19,1 mm (3/4 pulg.)	—	—	1
2	Chaveta de 4,8 mm (3/16 pulg.)	—	—	1
3	Volante (incluye 2 tornillos de fijación y llave)	PU015901SJ	PU015901SJ	1
4	Empaque de la placa para válvulas	●	●	1
5	Empaque del cilindro	●	●	1
6	Anillo en O	VT036700AV	VT036700AV	1
7	Ensamblaje del filtro de aire (De lujo)	VH901700AV	VH901700AV	1
8	Filtro de aire (De lujo)	VH901800AV	VH901800AV	1
9	Varilla del respiradero	VH901100AV	VH901100AV	1
10	Ventanilla	ST191700AV	ST191700AV	1
11	Caja del cigüeñal	VT040300AV	VT040300AV	1
12	Tapón del drenaje del aceite, 3,2 mm (1/8 pulg.) NPT	ST022300AV	ST022300AV	1
13	Empaque de la caja del cigüeñal	●	●	1
14	Cilindro	VT040915AV	VT040715AV	1
15	Juego de anillos del pistón	VT911200AV	VT911200AV	1
16	Pasador del pistón	VS001400AV	VS001400AV	2
17	Pistón	VT050915AV	VT050915AV	2
18	Varilla de conexión	VT040100AV	VT040100AV	2
19	Biela y ensamblaje del pistón	VT020500AV	VT020500AV	2
20	Balero	ST084202AV	ST084202AV	2
21	Cigüeñal, cojinetes, bielas, y ensamblaje del pistón	VT040650AV	VT040650AV	1
22	Ensamblaje de la tapa de los cojinetes	VT040200AJ	VT040200AJ	1
23	Sello del sistema de lubricación	ST129700AV ●	ST129700AV ●	1
24	Anillo en O	●	●	1
25	Tornillo M6-1.00 x 10 cap	—	—	4
26	Ensamblaje de la placa de la válvula	VT491100AV	VT491100AV	1
27	Culata del cilindro y cierres	TQ900800AJ	TQ900800AJ	1
<b>JUEGOS DE REPUESTOS</b>				
●	Juego de empaques	VT470900AJ	VT470900AJ	1
†	Artículo estándar de ferretería			

Ver la Garantía en página 30 para información importante sobre el uso comercial de este producto.

Manual de Instrucciones de Operación

Compresor de aire vertical, fijo, de una fase

Por favor lea y guarde estas instrucciones. Léalas cuidadosamente antes de tratar de montar, instalar, operar o dar mantenimiento al producto aquí descrito. Protéjase usted mismo y a los demás observando toda la información de seguridad. ¡El no cumplir con las instrucciones puede ocasionar daños, tanto personales como a la propiedad! Guarde estas instrucciones para referencia en el futuro.

# Compresores de Aire Estacionarios

## Table des matières

Descripción .....	21
Déballage .....	21
Medidas de Seguridad .....	21
Informaciones Generales de Seguridad .....	21
Introducción .....	23
Instalación .....	23
Ensamblaje .....	25
Funcionamiento .....	26
Mantenimiento .....	26
Guía de Diagnóstico de Averías .....	28
Garantía .....	30

## Descripción

Estos compresores de aire están diseñados para suministrarle aire comprimido a herramientas neumáticas y operar pistolas pulverizadoras. Los cabezales suministrados con estas unidades están lubricados con aceite. El aire comprimido suministrado contiene residuos de aceite. Para utilizarlo en aplicaciones que requieran el suministro de aire sin residuos de aceite o agua, le debe instalar un filtro adecuado. El compresor de aire se debe colocar sobre un piso sólido según las instrucciones suministradas. Cualquier otro uso de estas unidades cancelaría la garantía y el fabricante no sería responsable por los problemas o daños ocasionados por dichos usos.

## Déballage

Dès que l'appareil est déballé, l'inspecter attentivement pour tout signe de dommages en transit. S'assurer de resserrer tous les raccords, boulons, etc. avant de le mettre en service.

**LEA Y SIGA TODAS LAS INSTRUCCIONES  
GUARDE ESTAS INSTRUCCIONES  
NO LAS DESECHE**

## Medidas de Seguridad

Este manual contiene información que es muy importante que sepa y comprenda. Esta información se la suministramos como medida de SEGURIDAD y para EVITAR PROBLEMAS CON EL EQUIPO. Debe reconocer los siguientes símbolos.

**▲ PELIGRO** Esto le indica que hay una situación inmediata que LE OCASIONARIA la muerte o heridas de gravedad.

**▲ ADVERTENCIA** Esto le indica que hay una situación que PODRIA ocasionarle la muerte o heridas de gravedad.

**▲ PRECAUCION** Esto le indica que hay una situación que PODRIA ocasionarle heridas no muy graves.

**▲ AVISO** Esto le indica una información importante, que de no seguirla, le podría ocasionar daños al equipo.

**NOTA:** Información que requiere atención especial.

## Informaciones Generales de Seguridad

### PROPOSICIÓN 65 DE CALIFORNIA

**▲ ADVERTENCIA** Este producto, o su cordón eléctrico, puede contener productos químicos conocidos por el estado de California como causantes de cáncer y defectos de nacimiento u otros daños reproductivos. Lave sus manos después de usar.

**▲ ADVERTENCIA** Cuando corta lija, taladra o pule materiales como por ejemplo madera, pintura, metal, hormigón, cemento, u otro tipo de mampostería se puede producir polvo. Con frecuencia este polvo contiene productos químicos que se conocen como causantes de cáncer, defectos congénitos u otros daños reproductivos. Use equipo de protección.



## ▲ PELIGRO

### Advertencia sobre el aire respirable

Este compresor/cabezal no viene listo de fábrica para suministrarle aire respirable. Antes de utilizarlos con este fin, deberá instalarle un sistema de seguridad y alarma incorporado a la línea. Este sistema adicional es necesario para filtrar y purificar el aire adecuadamente, para cumplir con las especificaciones mínimas sobre aire respirable de Grado D descritas en la Especificación de Productos G 7.1 - 1966 de la Asociación de Aire Comprimido. Igualmente, deberá cumplir los requisitos establecidos por el Artículo 29 CFR 1910. 134 de la Organización norteamericana OSHA y/o la Canadian Standards Associations (CSA).

### RENUNCIA A LAS GARANTIAS

Si el compresor se utiliza para producir aire respirable SIN haberle instalado el sistema de seguridad y alarma, todas la garantías se anularán y el fabricante no asumirá NINGUNA responsabilidad por pérdidas, heridas personales o daños.

## GENERALES SEGURIDAD

Como el compresor de aire y otros componentes usados (bomba de material, pistolas pulverizadoras, filtros, lubricadores, mangueras, etc.) integran un sistema de alta presión, en todo momento deberá seguir las siguientes medidas de seguridad:

**RECORDATORIO:** ¡Guarde su comprobante de compra con fecha para fines de la garantía! Adjúntela a este manual o archívela en lugar seguro.

**Introducción**

Vea la Figura 1.

**PARA INSTALARLE UNA VALVULA DE CIERRE**

Debe instalarle una válvula de cierre en el orificio de salida del tanque para controlar el flujo de aire que sale del tanque. La válvula se debe colocar entre el tanque y las tuberías.

**Presostato** - Sistema de encendido automático - En "auto", el compresor se apaga automáticamente cuando la presión del tanque alcanza la presión máxima fijada. Después de gastar el aire del tanque y que la presión baje al nivel bajo preajustado, el presostato automáticamente vuelve a prender el motor. En "off", el compresor no puede funcionar. El presostato debe estar en "off" cuando vaya a conectar o desconectar el cordón eléctrico del tomacorrientes.

Cuando el presostato apaga el motor usted podrá oír la salida de aire de la válvula de descarga del presostato por un breve tiempo. Esto descarga la presión de aire del tubo de descarga y permite que el compresor vuelva a arrancar con facilidad. Para las unidades sin presostato manual, cuando sea necesario poner el presostato en OFF, use el interruptor que corta la energía.

**Descargador** - Este instrumento ubicado en el presostato permite la salida de aire comprimido para facilitar que el motor arranque bajo presión.

**Regulador** - El regulador controla la presión de aire que sale por la manguera (Se vende por separado).

**Válvula de Seguridad ASME** - Esta válvula libera el aire automáticamente si la presión del tanque excede el nivel máximo fijado.

**Tubo de Descarga** - Este tubo transporta el aire comprimido del cabezal a la válvula de chequeo. Este tubo se calienta mucho durante el uso. Para evitar el riesgo de sufrir quemaduras severas, nunca toque el tubo de descarga.

**Válvula de Chequeo** - Esta válvula de un solo sentido permite la entrada de aire al tanque, pero evita que se regrese al cabezal.

**Tapa de las Bandas** - Cubre la banda, la polea del motor y el volante.

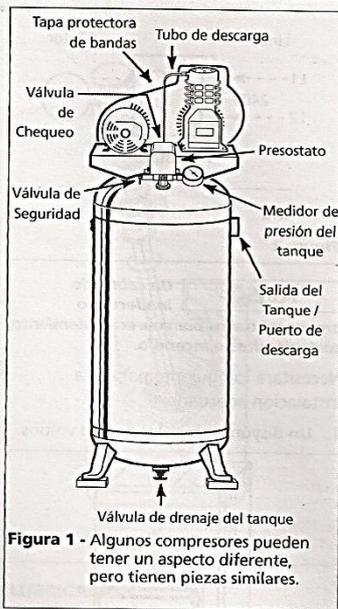


Figura 1 - Algunos compresores pueden tener un aspecto diferente, pero tienen piezas similares.

**Válvula de drenaje del tanque -**

Esta válvula está ubicada en la parte inferior del tanque. Úsela para drenar la humedad del tanque diariamente para reducir el riesgo de que el tanque se oxide.

**Instalación**

**⚠ ADVERTENCIA**

Desconecte el cordón eléctrico y amárralo y después libere toda la presión del sistema antes de tratar de instalarlo, darle servicio o darle cualquier tipo de mantenimiento.



**UBICACION**

**⚠ AVISO** Este compresor no está diseñado para instalarse a la intemperie.

Es sumamente importante que instale el compresor en un área limpia y bien ventilada donde la temperatura ambiental no exceda los 38,1° C.

La distancia mínima entre el volante del compresor o ventilador y la pared debe ser de 45,7 cm (18 inches) para tener acceso a la llave de drenaje sin inconvenientes.

No coloque la entrada de aire del compresor en un área donde haya vapor, se rocíe pintura o arena o haya ningún otro tipo de contaminación.

**INSTALACION**

**⚠ PRECAUCION** Nunca instale el compresor sobre las bases de madera usadas para transportarlo.

**INSTALACION EN EL PISO (TODAS LAS UNIDADES)**

**DEBERA** atornillar las patas a una superficie plana y nivelada, tal como un piso de concreto o una base de concreto aparte. **Debe** usar almohadillas aislantes entre las patas del tanque y el piso. **No apriete los pernos excesivamente.** (Parte núm. MP346100AJ, disponible por separado). Permita que las almohadillas absorban la vibración. Deberá instalar conexiones flexibles entre el tanque y las tuberías.

**⚠ ADVERTENCIA** La parte superior de este compresor es sumamente pesada. La unidad se atornilla al piso y colocarle almohadillas aislantes antes de utilizarla para evitar daños, heridas o la muerte.

**⚠ ADVERTENCIA** Nunca instale la válvula de cierre entre el cabezal y el tanque. Ésto podría ocasionarle heridas y/o daños a su propiedad.

**TUBERIAS**

**⚠ ADVERTENCIA** Nunca use tuberías de plástico (PVC) en sistemas de aire comprimido. El hacerlo podría ocasionarle heridas o daños a su propiedad.

Todo tubo o manguera empleado debe estar capacitado para presiones de más de 150 psi. Tamaño mínimo recomendado para tubos:

- hasta 50 pies de largo: use 12,7 mm (1/2 inches)
- más de 50 pies: use 19,1 mm (3/4 inches)

Es siempre aconsejable usar diámetros mayores.

**Instalación (Continuación)**

**Instalaciones Eléctricas**

**⚠ ADVERTENCIA** *Todo el cableado e instalaciones eléctricas deberán ser realizados por un electricista calificado familiarizado con los controles de motores industriales. Las instalaciones deberán realizarse conforme a los códigos locales y nacionales.*



**⚠ ADVERTENCIA** *Desconecte el cordón eléctrico y amárralo y después libere toda la presión del sistema antes de tratar de instalarlo, darle servicio o darle cualquier tipo de mantenimiento.*



**⚠ ADVERTENCIA** *Si no instala el sistema de alambrado adecuado podría ocasionar sobrecalentamiento, cortocircuitos e incendios.*

**CONEXION A TIERRA**

Este aparato debe estar conectado a tierra. Si la unidad trae un cordón instalado de fábrica, enchúfelo en una toma de tamaño apropiado y conectada a tierra.

Para las unidades que no traen cordón instalado de fábrica, instale un alambrado permanente desde la fuente de energía hasta el presostato, con un cable de tierra conectado al tornillo de tierra del presostato. El usuario puede también instalar un cordón de tamaño apropiado con enchufe y cable de tierra.

**⚠ PELIGRO** *Los artefactos eléctricos conectados a tierra incorrectamente constituyen un riesgo de electrocutamiento. Cerciórese de que todas las conexiones a tierra estén hechas adecuadamente.*



**ALAMBRADO**

Los códigos locales de electricidad varían de un área a otra. El sistema de alambrado, los enchufes y protectores deben cumplir con el voltaje y amperaje indicado en la placa del motor. Igualmente, éstos deben cumplir con los códigos locales de electricidad. Use un fusible tipo T de acción retardada.

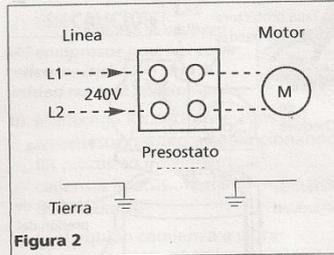


Figura 2

**⚠ AVISO** *Un cableado inadecuado provocará daños por sobrecalentamiento, cortocircuitos e incendio.*

Necesitará lo siguiente para una instalación adecuada:

1. Un disyuntor bipolar de 240 voltios.

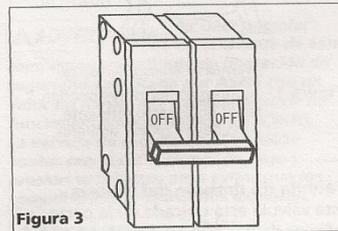


Figura 3

2. Un voltímetro.

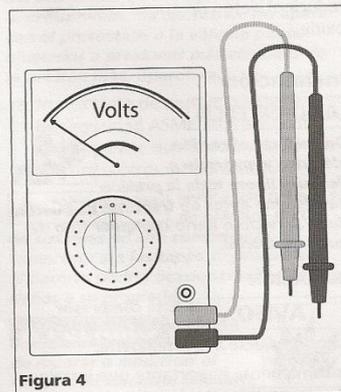


Figura 4

**Tamaños mínimos de cable (la mayoría cumplen con todos los códigos)**

Hasta 1,9 m (75 pies) de largo	12AWG
Mayor que 1,9 m (75 pies)	10AWG

Recomendado para usar 10 AWG

Confirme el voltaje adecuado - debe ser realizado por un electricista calificado.

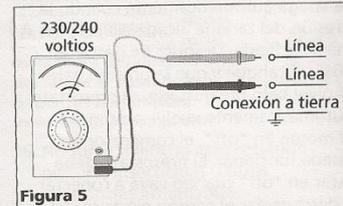


Figura 5

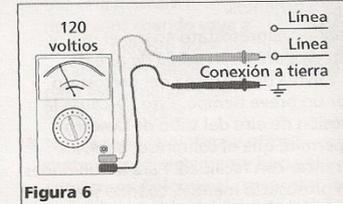


Figura 6

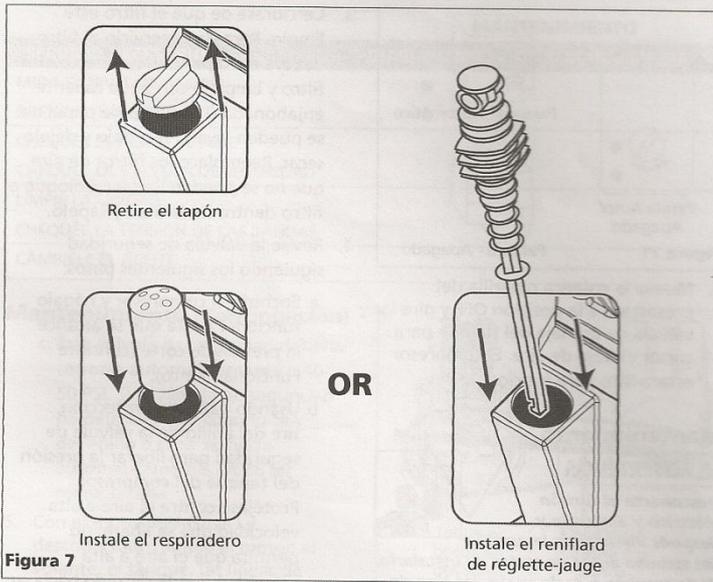


Figura 7

**Ensamblaje**

**ACCESORIOS ADICIONALES NECESARIOS**

Compre una manguera, un regulador y una válvula de cierre diseñados para presiones mínimas de 12,07 bar y que excedan las presiones máximas de trabajo del compresor.

**INSTALACIÓN DEL RESPIRADERO**

Retire el tapón del orificio para llenar el aceite. Instale el respiradero (se encuentra en la bolsa de las piezas con este manual). Vea la Figura 7.

**EXTENSION PARA DRENAR EL ACEITE**

Algunos modelos traen una extensión para el sistema de drenaje de aceite y una tapa (se encuentra en la bolsa de repuestos con este manual o colgando del cilindro). Instale la extensión y la tapa antes de añadirle aceite al cabezal. Para evitar fugas de aceite, aplique sellador para roscas de tuberías o cinta para roscas a las roscas de cada extremo de la extensión del drenaje de aceite. Atornille la tapa en uno de los extremos de la extensión, quítele el tapón a la base del cabezal e instálele la extensión (Vea las Figuras 8 y 9).

**LUBRICACION**

**⚠ PRECAUCION** ¡VERIFIQUE EL NIVEL DE ACEITE

**ADECUADO ANTES DE PONER EN FUNCIONAMIENTO!**

**ALGUNOS MODELOS SE ENVÍAN CON ACEITE EN LA BOMBA.**

Cerórese de haberle instalado la extensión para drenar el aceite y la tapa (si se incluyen), sáquele la varilla al respiradero (Vea la Figura 8) y llénelo de aceite según se le indica en la tabla.

La etiqueta en el tanque de aire específica el modelo del cabezal y la tabla en este manual le indica la capacidad de aceite para cada modelo.

Cabezal	Cap. Aprox. de Aceite
VT4700	0,25 L
VH3000	0,95 L

**ACEITE**

Use aceite SAE 30 de calidad industrial para compresores de aire o un sintético tipo Mobil 1 10W30. No use aceite normal para vehículos. Los aditivos en los aceites para motores pueden ocasionar depósitos de residuos en las válvulas y reducir la duración del cabezal. Para lograr la máxima duración del cabezal, drene el aceite y cámbielo después de la primera hora de funcionamiento.

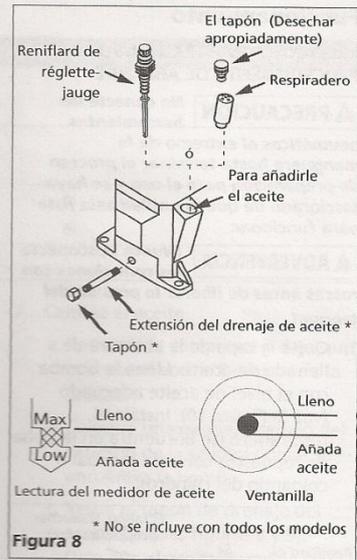


Figura 8

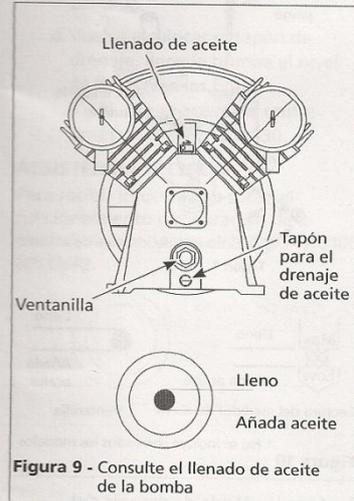


Figura 9 - Consulte el llenado de aceite de la bomba

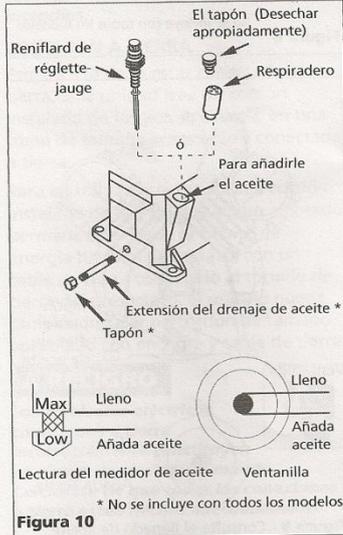
**Funcionamiento**

**PREPARACION PARA EL USO / PROCEDIMIENTO DE ABLANDE**

**⚠ PRECAUCION** No conecte las herramientas neumáticas al extremo de la manguera hasta terminar el proceso de preparación para el uso y se haya cerciorado de que la unidad está lista para funcionar.

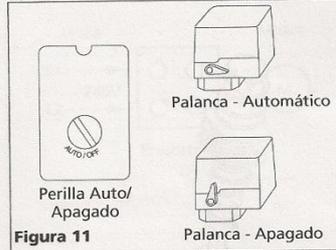
**⚠ ADVERTENCIA** ¡Nunca desconecte las conexiones con roscas antes de liberar la presión del tanque!

1. Quite la tapa de la abertura de llenado de aceite. Llene la bomba con el nivel de aceite adecuado (vea la Figura 10). Instale el respiradero (se encuentra en la bolsa de repuestos con este manual o colgando del cilindro).



**Figura 10** \* No se incluye con todos los modelos

2. Abra la válvula de drenaje del tanque. Abra la llave de salida para permitir el flujo de aire.
3. Mueva la palanca o perilla del presostato a la posición OFF y enchufe el cordón de alimentación. Coloque la palanca del presostato en AUTO para encender la unidad (Vea la Figura 11).
4. Haga funcionar la unidad durante 30 minutos a 0 (cero) psi (sin carga) para ablandar las piezas de la bomba.



**Figura 11**

5. Mueva la palanca o perilla del presostato a la posición OFF y gire la válvula de drenaje del tanque para cortar el flujo de aire. El compresor estará listo para funcionar.

**Mantenimiento**

**⚠ ADVERTENCIA**

Desconecte el cordón eléctrico y amárrelo y después libere toda la presión del sistema antes de tratar de instalarlo, darle servicio o darle cualquier tipo de mantenimiento.

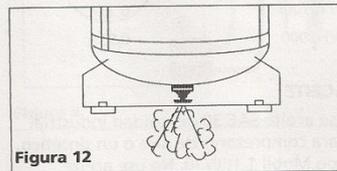


Todos los trabajos de reparación los debe hacer un técnico autorizado.

**PARA EL FUNCIONAMIENTO EFICIENTE:**

Realice el siguiente plan de mantenimiento.

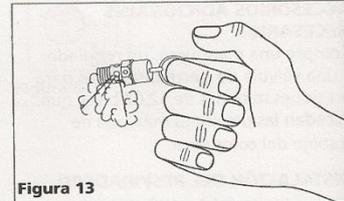
1. Mantenga un nivel de aceite adecuado. Consulte la sección de lubricación para obtener detalles.
2. Drene el tanque. Apague el compresor y libere toda la presión, después: Abra la llave de drenaje, ubicada debajo del tanque, para drenarle toda la humedad (Vea la Figura 12).



**Figura 12**

3. Cerciórese de que el filtro esté limpio. Para darle servicio al filtro deberá destaparlo. Desconecte el filtro y límpielo con agua caliente enjabonada (Los filtros de papel no se pueden lavar). Sacúdalo y déjelo secar. Reemplace los filtros de aire que no se puedan limpiar. Coloque el filtro dentro de la base y tápelos.
4. Revise la válvula de seguridad siguiendo los siguientes pasos:

- a. Enchufe el compresor y hágalo funcionar hasta que se alcance la presión de corte (consulte Funcionamiento).
- b. Usando gafas de protección, tire del anillo de la válvula de seguridad para liberar la presión del tanque del compresor. Protéjase contra el aire a alta velocidad que se libera; no permita que el aire a alta velocidad quede dirigido hacia su rostro (vea la Figura 13).



**Figura 13**

**HUMEDAD EN EL AIRE COMPRIMIDO**

La humedad que se acumula en el aire comprimido se convierte en gotas a mediada que sale del cabezal. Cuando el nivel de humedad es muy alto o cuando el compresor ha estado en uso continuo por mucho tiempo, esta humedad se acumulará en el tanque. Cuando esté pintando o rociando arena, la humedad saldrá del tanque mezclada con el material que esté rociando.

**IMPORTANTE:** Esta condensación ocasionará manchas en la pintura, especialmente cuando esté pintando con pinturas que no sean a base de agua. Si está rociando arena, la humedad hará que la arena se aglutine y obstruya la pistola. Instale un filtro de línea, ubicado lo más cerca posible de la pistola, para tratar de eliminar este problema.

MANTENIMIENTO				
SERVICIO NECESARIO	DIARIAMENTE	SEMANALMENTE	MENSUALMENTE	TRIMESTRALMENTE
MIDA EL NIVEL DE ACEITE	●			
DRENE EL TANQUE	●			
CHEQUÉE EL FILTRO DE AIRE		●		
CHEQUÉE LA VÁLVULA DE SEGURIDAD		●		
LIMPIE LA UNIDAD			●	
CHEQUÉE LA TENSIÓN DE LAS BANDAS			●	
CÁMBIELE EL ACEITE				●

**Mantenimiento (Continuación)**

- c. Esta válvula de seguridad debería cerrarse automáticamente a 40-50 PSI. Si la válvula de seguridad no deja salir aire cuando tira del anillo o si no se cierra automáticamente, DEBE ser reemplazada.
- 5. Con el motor APAGADO y desconectado, limpie el motor, el volante, el tanque, las líneas de aire y las aletas de enfriamiento del cabezal.
- 6. Revise la correa para detectar señales de desgaste excesivo. Si la correa muestra señales de desgaste, reemplácela. Revise la correa para verificar una tensión y alineación adecuadas. Para ajustar la correa:
  - a. Qúitele la tapa protectora de la banda.
  - b. Retire la correa.
  - c. Afloje los cuatro pernos que unen el motor a la base.
  - d. Mueva el motor en la dirección adecuada. Apriete los cuatro sujetadores que sostienen el motor a la placa de la base. Después de hacer los ajustes, debe alinear la banda.
  - e. Para alinear la banda, coloque un objeto recto entre dos puntos del volante (Vea la Figura 14).

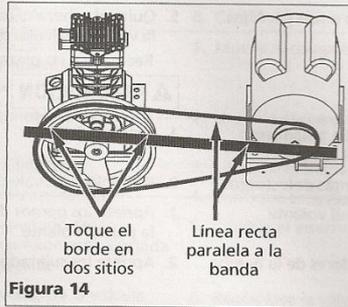


Figura 14

- f. Ajuste el volante o la polea del motor de modo que las bandas estén paralelas al objeto recto de referencia (Vea la Figura 14).
- g. Si es necesario, use un sacaengranaje para mover la polea en el eje del motor. Apriete los pernos una vez que la polea esté en su sitio.
- h. Vuelva a colocar la correa.
- i. Vuelva a colocar la protección de la correa.

- 7. Cambie el aceite
  - a. Encienda el compresor y deje que caliente el aceite. Desenchufe la unidad.
  - b. Coloque una bandeja debajo del extremo de la unidad donde se encuentra la bomba.
  - c. Retire el tapón de drenaje del aceite (Vea las figuras 8 y 9). Deje que el aceite se recoja en la bandeja.
  - d. Vuelva a colocar el tapón de drenaje, llene la bomba al nivel de lleno (vea las figura 8 y 9). Use el aceite de motor sintético Mobil 1 10W-30.

**ASISTENCIA TÉCNICA**

Para recibir información sobre el funcionamiento o reparación de la unidad, sírvase llamar al 1-800-543-6400 (en EUA).

## Guía de Diagnóstico de Averías

Problema	Posible(s) Causa(s)	Acción a Tomar
Baja presión de descarga	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. La demanda de aire excede la capacidad de la bomba</li> <li>2. Entrada de aire restringida</li> <li>3. Pérdidas de aire (conexiones, tubería del compresor, o tubería fuera del sistema)</li> <li>4. Juntas defectuosas</li> <li>5. Válvulas dañadas o con pérdidas.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reduzca la demanda de aire o utilice un compresor de mayor capacidad.</li> <li>2. Limpie o cambie el elemento del filtro de aire.</li> <li>3. Escuche para detectar pérdidas de aire. Aplique una solución jabonosa a todos los accesorios y conexiones. Aparecerán burbujas en los puntos donde existan pérdidas. Ajuste o reemplace los accesorios o conexiones con pérdidas. Use sellador para roscas de tuberías.</li> <li>4. Reemplace cualquier junta que pruebe estar defectuosa al inspeccionarla.</li> <li>5. Quite el cabezal e inspecciónelo para detectar posibles roturas de la válvula, válvulas desalineadas, asientos de válvulas dañados, etc. Reemplace las piezas defectuosas y vuelva a armar.</li> </ol> <p><b>⚠ PRECAUCIÓN</b> <i>Instale una nueva junta para el cabezal cada vez que éste sea quitado.</i></p>
El sobrecalentamiento de la bomba derrite el filtro	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No está la junta de aislamiento entre el filtro y el cabezal</li> <li>2. Válvulas rotas/juntas defectuosas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Instale la junta.</li> <li>2. Reemplace las válvulas o instale una junta nueva.</li> </ol>
Ruido excesivo (golpeteo)	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Afloje la polea o el volante del motor</li> <li>2. Afloje los sujetadores de la bomba o el motor</li> <li>3. Falta de aceite en el cárter</li> <li>4. Biela gastada</li> <li>5. Diámetros del eje del émbolo desgastados</li> <li>6. El émbolo pega contra la placa de la válvula</li> <li>7. Válvula de verificación ruidosa en el sistema del compresor</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Apriete los pernos de fijación y los tornillos de fijación de la polea / volante.</li> <li>2. Apriete los sujetadores</li> <li>3. Controle si el nivel de aceite es el adecuado; si está bajo, verifique la posibilidad de que los cojinetes estén dañados. El aceite sucio puede causar un desgaste excesivo.</li> <li>4. Reemplace la biela. Mantenga el nivel de aceite y cambie el aceite con más frecuencia.</li> <li>5. Quite los ensamblajes del émbolo del compresor e inspecciónelos para detectar un desgaste excesivo. Reemplace el eje del émbolo(s) si está excesivamente desgastado o según necesario. Mantenga el nivel de aceite y cambie el aceite con más frecuencia.</li> <li>6. Quite el cabezal del compresor y la placa de la válvula e inspeccione para detectar depósitos de carbón u otros elementos extraños en la cabeza del émbolo. Vuelva a colocar el cabezal y la placa de la válvula utilizando una junta nueva. Consulte la sección de lubricación para el aceite recomendado.</li> <li>7. Cambie la válvula de retención.</li> </ol> <p><b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i></p>
Aceite excesivo en el aire de descarga. <b>NOTA:</b> En un compresor lubricado con aceite siempre hay una pequeña cantidad de aceite en el flujo de aire.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Aros del émbolo desgastado</li> <li>2. La entrada de aire del compresor está restringida</li> <li>3. Demasiado aceite en el compresor</li> <li>4. Viscosidad del aceite equivocada</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reemplácelos con aros nuevos. Mantenga el nivel de aceite y cambie el aceite con más frecuencia.</li> <li>2. Limpie o reemplace el filtro. Verifique otras restricciones en el sistema de entrada.</li> <li>3. Escúrralo hasta que alcance el nivel de lleno.</li> <li>4. Use Mobil 1<sup>®</sup> 10W-30.</li> </ol>
Agua en el aire de salida o en el tanque	Operación normal. La cantidad de agua aumenta con el clima húmedo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Drene el tanque con más frecuencia. Al menos diariamente.</li> <li>2. Agregue un filtro</li> </ol>
El motor zumba y funciona lentamente o no funciona en lo absoluto	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Voltaje bajo</li> <li>2. Demasiados dispositivos en el mismo circuito</li> <li>3. Conexiones eléctricas sueltas</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verifique el voltaje de entrada. Debería ser de aproximadamente 230 voltios. El motor no funcionará adecuadamente con 208 voltios. El bajo voltaje podría deberse a los cables (de la fuente eléctrica al compresor) si son de un diámetro demasiado pequeño y/o demasiado largos. Haga que un electricista calificado revise estas condiciones y haga las reparaciones que sean necesarias.</li> <li>2. Limite el circuito al uso del compresor únicamente</li> <li>3. Verifique todas las conexiones eléctricas.</li> </ol>

Guía de Diagnóstico de Averías (Continuación)

Problema	Posible(s) Causa(s)	Acción a Tomar
El motor zumba y funciona lentamente o no funciona en lo absoluto (Continuación)	4. Malfuncionamiento del interruptor presión, los contactos no se cierran	4. Reemplace el interruptor de presión.
	5. Malfuncionamiento de la válvula de verificación	5. Reemplace la válvula de verificación. <b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i>
	6. Válvula de descarga defectuosa en el interruptor de presión	6. Cambie la válvula de descarga
	7. Condensador(es) del motor defectuoso(s)	7. Cambie el condensador o condensadores
	8. Motor defectuoso	8. Cambie el motor
	1. Falta de ventilación adecuada/ temperatura ambiente demasiado alta	1. Mueva el compresor a un área bien ventilada
	2. Demasiados aparatos en el mismo circuito	2. Use sólo el compresor de aire en el circuito.
	3. Entrada de aire limitada	3. Limpie o reemplace el elemento del filtro
El mecanismo de reajuste corta reiteradamente o el disyuntor se dispara reiteradamente	4. Conexiones eléctricas sueltas	4. Verifique todas las conexiones eléctricas
	5. La presión de apagado del interruptor de presión está ajustada a un valor demasiado alto	5. Cambie el interruptor de presión.
	6. Malfuncionamiento de la válvula de verificación	6. Reemplace la válvula de verificación. <b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i>
	7. Válvula de descarga defectuosa en el interruptor de presión	7. Cambie la válvula de descarga
	8. Condensador(es) del motor defectuoso(s)	8. Cambie el condensador o condensadores
	9. Malfuncionamiento del motor	9. Reemplace el motor.
	1. Fugas de aire (conexiones, tubería del compresor, o tubería fuera del sistema)	1. Revise todas las conexiones con una solución de agua y jabón. Apriete; o retire y aplique sellador a las roscas, después vuelva a ensamblar.
	2. Válvula desgastada	2. Reemplace la válvula. <b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i>
	3. Revise el tanque para detectar fisuras o perforaciones	3. Reemplace el tanque. Nunca repare un tanque dañado.
El interruptor de presión tira continuamente aire por la válvula de descarga	Malfuncionamiento de la válvula	Cambie la válvula de retención si la válvula de descarga en el interruptor de presión se drena constantemente cuando se apaga la unidad. <b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i>
El interruptor de presión no libera el aire cuando la unidad de apaga	Malfuncionamiento de la válvula de descarga en el interruptor de presión	Cambie la válvula de descarga si no libera la presión en un breve período de tiempo cuando la unidad se apaga. <b>⚠ PELIGRO</b> <i>No desarme la válvula de verificación con presión de aire en el tanque.</i>
Vibración excesiva	1. Afloje los sujetadores de la bomba o el motor	1. Apriete los sujetadores.
	2. La correa necesita ser reemplazada	2. Reemplace la correa con otra del tamaño adecuado.
	3. Alineación de la correa	3. Alinee el volante y la polea.

## Garantía Limitada

1. DURACIÓN: A partir de la fecha de compra por el comprador original tal como se especifica a continuación: Un Año, Dos Años, Tres Años, Cuatro Años o Cinco Años como se indica en la etiqueta de características del producto.
  2. QUIEN OTORGA ESTA GARANTÍA (EL GARANTE: Campbell Hausfeld / The Scott Fetzer Company 100 Production Drive, Harrison, Ohio 45030 Teléfono: (800) 543-6400
  3. QUIEN RECIBE ESTA GARANTÍA (EL COMPRADOR): El comprador original (que no sea un revendedor) del producto Campbell Hausfeld.
  4. PRODUCTOS CUBIERTOS POR ESTA GARANTÍA: Cualquier compresor de aire Campbell Hausfeld.
  5. COBERTURA DE LA GARANTÍA: Piezas y Mano de Obra para remediar defectos importantes debidos a material y mano de obra durante el primer año de propiedad con las excepciones indicadas a continuación. Piezas solamente para remediar defectos importantes debidos a material y mano de obra durante el tiempo de cobertura que quede con las excepciones indicadas a continuación.
  6. LO QUE NO ESTÁ CUBIERTO POR ESTA GARANTÍA:
    - A. Las garantías implícitas, incluyendo aquéllas de comerciabilidad e IDONEIDAD PARA FINES PARTICULARES, ESTÁN LIMITADAS A PARTIR DE LA FECHA DE COMPRA ORIGINAL DE ACUERDO CON LO ESPECIFICADO EN EL PÁRRAFO DE DURACIÓN. Si el compresor de aire es empleado para uso comercial, industrial o para renta, la garantía será aplicable por noventa (90) días a partir de la fecha de compra. La garantía de los compresores de dos etapas no se limita a los 90 (noventa) días cuando éstos se usen para trabajos comerciales o industriales. En algunos estados no se permiten las limitaciones a la duración de una garantía implícita, por lo cual las limitaciones antedichas pueden no ser aplicables en su caso.
    - B. CUALQUIER PÉRDIDA DAÑO INCIDENTAL, INDIRECTO O CONSECUENTE QUE PUEDA RESULTAR DE UN DEFECTO, FALLA O MALFUNCIONAMIENTO DEL PRODUCTO CAMPBELL HAUSFELD. En algunos estados no se permite la exclusión o limitación de daños incidentales o consecuentes, por lo tanto, en tales casos esta limitación o exclusión no es aplicable.
    - C. Cualquier falla que resulte de un accidente, abuso, negligencia o incumplimiento de las instrucciones de funcionamiento y uso indicadas en el (los) manual(es) que se adjunta(n) al compresor.
    - D. Los servicios requeridos antes de la entrega tales como: ensamblaje, aceite o lubricantes y ajustes.
    - E. Artículos o servicios normalmente requeridos para el mantenimiento del producto, tales como: lubricantes, filtros, empaques, etc.
    - F. Los motores de gasolina están específicamente excluidos de la cobertura de esta garantía limitada. El comprador debe seguir las cláusulas de la garantía otorgada por el fabricante del motor de gasolina que se suministra con el producto.
    - G. Artículos adicionales no cubiertos bajo esta garantía:
      1. Piezas excluidas que pertenecen a Todos los Compresores
        - a. Cualquier componente dañado durante el envío o cualquier daño ocasionado por haber instalado u operado la unidad bajo condiciones contrarias a lo indicado en las instrucciones para instalar u operar la unidad o daños ocasionados por el contacto con herramientas o los alrededores.
        - b. Daños del cabezal o las válvulas ocasionados por la lluvia, humedad excesiva, agentes corrosivos u otros contaminantes.
        - c. Daños de apariencia que no afecten el funcionamiento del compresor.
        - d. Tanques oxidados, incluyendo pero no limitado al óxido debido al drenaje inadecuado u agentes corrosivos en el ambiente.
        - e. Las siguientes piezas se consideran artículos sujetos a desgaste normal y no son cubiertas después del primer año de propiedad. Motor eléctrico, válvula de retención, interruptor de presión, regulador, manómetros, mangueras, tuberías, tubos, accesorios y acoples, tornillos, tuercas, artículos de ferretería, correas, poleas, volante, filtro de aire y caja, juntas, sellos, pérdidas de aceite, pérdidas de aire, consumo o uso de aceite, anillos del pistón.
        - f. Llaves de drenaje
        - g. Daños debidos al alambrado incorrecto o conexión a circuitos con voltaje inadecuados para la unidad.
        - h. Otros artículos no enumerados pero considerados de desgaste general.
        - i. Prestatos, controles de flujo de aire y válvulas de seguridad cuyos parametros fijados de fábrica se modifiquen.
        - j. Daño por mantenimiento inadecuado del filtro.
        - k. Motores de inducción alimentados con electricidad producida por un generador.
      2. Compresores lubricados:
        - a. Daños del cabezal o las válvulas debidos al uso de aceites no especificados.
        - b. Daños del cabezal o las válvulas debidos a cualquier contaminación del aceite o por no haber seguido las instrucciones de lubricación.
        - c. Desgaste o daño de la bomba causados por el no haber aplicado apropiadamente los criterios de mantenimiento en referencia al aceite, funcionamiento con nivel de aceite por debajo del nivel apropiado o funcionamiento sin aceite.
    - H. Mano de obra, llamadas de servicio o cargos por concepto de transporte después del primer año de propiedad de compresores estacionarios. Los compresores estacionarios se identifican por no tener asidero o ruedas.
  7. RESPONSABILIDADES DEL GARANTE BAJO ESTA GARANTÍA: Reparar o reemplazar, como lo decida el Garante, el compresor o componentes que estén defectuosos, se hayan dañado o hayan dejado de funcionar adecuadamente, durante el periodo de validez de la garantía.
  8. RESPONSABILIDADES DEL COMPRADOR BAJO ESTA GARANTÍA:
    - A. Suministrar prueba fechada de compra y la historia de mantenimiento del producto.
    - B. Entregar o enviar los compresores de aire portátiles o componentes al Centro de Servicio autorizado Campbell Hausfeld más cercano. Los gastos de flete, de haberlos, deben ser pagados por el comprador.
    - C. Tener cuidado al utilizar el producto, tal como se indica(n) en el (los) manual(es) del propietario.
    - D. Reparaciones que requieran tiempo adicional al horario normal de trabajo, o cualquier asunto que exceda la tarifa normal de reembolso por mano de obra para reparaciones bajo la garantía del fabricante.
    - E. El tiempo requerido por cualquier control de seguridad, capacitación relacionada con seguridad, o asuntos similares necesarios para que el personal de servicio pueda tener acceso a las instalaciones.
    - F. La ubicación de la unidad debe tener espacio suficiente para que el personal de servicio pueda realizar reparaciones y debe ser fácilmente accesible.
  9. CUÁNDO EFECTUARÁ EL GARANTE LA REPARACIÓN O REEMPLAZO CUBIERTO BAJO ESTA GARANTÍA: La reparación o reemplazo dependerá del flujo normal de trabajo del centro de servicio y de la disponibilidad de repuestos.
- Esta garantía limitada es válida sólo en los EE.UU., Canadá y México y otorga derechos legales específicos. Usted también puede tener otros derechos que varían de un Estado a otro, o de un país a otro.

## **ANEXO 4**

### **MANUAL DE USUARIO.**

#### **TABLA DE CONTENIDO.**

1. Introducción.
2. Componentes.
3. Seguridad.

#### **1. INTRODUCCION.**

La red de distribución de aire está diseñada para abastecer de energía neumática a todos los equipos con los que cuenta el laboratorio. Cuenta con todos los dispositivos necesarios para ser utilizados sin ningún problema haciendo posible el trabajo simultaneo de todos los equipos.

#### **2. COMPONENTES.**

Entre los componentes que consta la red neumática tenemos:

##### **COMPRESOR.**

Es el elemento generador de energía que captura el aire del ambiente y lo almacena en un tanque a presión para luego ser distribuido.



## **LINEA DE DISTRIBUCION.**

Corresponde a la tubería que circula por el laboratorio y suministra de aire comprimido a los elementos consumidores.



## **ACCESORIO.**

Corresponden a los elementos que se necesitan para instalar la red como son:

Codos.- Son elementos utilizados para cambiar de dirección a una línea de aire

Tee.- Sirven para dividir la línea de aire.

Válvulas de cierre.- Sirven para habilitar o deshabilitar el paso del aire comprimido.

Filtros.- Son utilizados para purificar el aire.

Acoples rápidos.- Son accesorios para poder conectar los equipos de manera rápida y sencilla.

## **UNIDADES DE MANTENIMIENTO.**

Estas unidades se montan cerca de las unidades consumidoras y tiene la finalidad de preparar el aire comprimido.



## **1. SEGURIDAD.**

Como medidas de seguridad se debe mantener el compresor en óptimas condiciones debido a que este es el elemento más importante en de la red. Se debe revisar el aceite periódicamente, así también las válvulas de seguridad que posee este; revisar la presión, también se debe prestar atención de que el compresor no permanezca prendido todo el tiempo ya que esto podría ser causa de algún inconveniente en el sistema.

También se debe revisar que no existan fugas considerables en el sistema ya que estos causan pérdidas y hacen que el compresor trabaje más de lo necesario reduciendo así la vida útil de este.

Revisar la presión requerida en los puntos de consumo, debido a que una presión de trabajo mayor reduce la vida útil de los equipos, y una presión menor no permite que funciones correctamente.

También se debe abrir las purgas en determinados tiempos de acuerdo a la cantidad de uso que se le da al sistema para eliminar la humedad que se condensa en la red.

## ANEXO 5

### MANUAL TECNICO

#### 1. INTRODUCCION.

Este manual tiene como objetivo dar a conocer todo el sistema, su funcionamiento para que la persona encargada pueda trabajar de una manera correcta. Aquí describiremos como está construida la red de distribución neumática.

#### 2. CONTENIDO.

La red neumática está constituida de un compresor Campbell que proporciona un caudal de 10.2 CFM, necesario para suministrar aire comprimido a la red; con un tanque de 225 lts que abastece a los equipos.



Se utilizó tubería galvanizada para armar la red principal con la finalidad de que soporte la presión, además se implementó una red cerrada para aprovechar la presión y facilitar el mantenimiento.

La tubería que se encarga de distribuir el aire tiene un diámetro interior de  $\frac{3}{4}$  de pulgada esta se encarga de abastecer toda la línea.

Para las bajantes que se encargan de conectar los elementos consumidores se consideró tubería de  $\frac{1}{2}$  pulgada.



También el sistema cuenta con dos purgas en lugares donde se acula el condensado; estas purgas son manuales, consta de una válvula de cierre que se activa manualmente.

En los puntos de consumo contamos con acoples rápidos que facilitan la conexión de los equipos.

En cada punto de consumo debe ir una unidad de mantenimiento proteger los equipos y filtrar las impurezas que hayan en la red, además también nos sirve para regular la presión de trabajo.



La red tiene una pequeña inclinación para que baje el condensado hacia las purgas.