



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**TEMA:**

**Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido  
para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG**

**AUTOR:**

**Pincay Galarza Danny Ricardo**

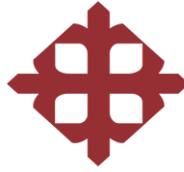
**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de  
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en gestión  
empresarial industrial**

**TUTOR:**

**MSc. Luis Orlando Philco Asqui**

**Guayaquil - Ecuador**

**2019**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Pincay Galarza Danny Ricardo**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico** con mención en gestión empresarial industrial.

**TUTOR**

---

**MSc. Luis Orlando Philco Asqui**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Pincay Galarza Danny Ricardo**

**DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, “**Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG**”, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo, es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**EL AUTOR**

---

**Pincay Galarza Danny Ricardo**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

## **AUTORIZACIÓN**

**Yo, Pincay Galarza Danny Ricardo**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**EL AUTOR**

---

**Pincay Galarza Danny Ricardo**

# Reporte Urkund

Documento: TESIS DANNY PINCAY FINAL.pdf (D40236143)  
Presentado: 2019-02-22 17:34 (-05:00)  
Presentado por: orlandophilco\_7@hotmail.com  
Recibido: orlando.philco.ucsg@anaysis.orkund.com  
Mensaje: RV: IMPRIME A BLANCO Y NEGRO [Mostrar el mensaje completo](#)  
4% de estas 25 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

- 95% <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>  
filtración en las líneas de aire comprimido
- 98% el nivel de partículas contaminantes, aceites, agua en fase líquida y bacterias. El ambiente d
- 83% <http://www.centralair.es/es/actuadores-lineales-todo-nada>  
Circuito de seguridad ante fallos de tensión y/o presión, de modo que el actuador permanece ...
- 100% Cuadros de control con el nivel de protección deseado (IP67, NEMA 4X).

aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG AUTOR: Pincay Danny Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electrónico-Mecánica TUTOR: MSc. Luis Orlando Philco Asqui Guayaquil, 22 de Febrero del 2019

III FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA  
CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Pincay Galarza Danny Ricardo, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico-Mecánico TUTOR \_\_\_\_\_ MSc. Luis Orlando Philco Asqui DIRECTOR DE LA CARRERA \_\_\_\_\_ MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando Guayaquil, 22 de Febrero del 2019

IV FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA  
CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD Yo, Pincay Galarza Danny Ricardo DECLARO QUE: El Trabajo de Titulación, "Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG, previo a la obtención del título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo, es de mi total autoría. En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido. Guayaquil, 22 de Febrero del 2019 EL AUTOR \_\_\_\_\_ Pincay Galarza Danny Ricardo

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico-Mecánica denominado: **Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG** del estudiante **Pincay Galarza Danny Ricardo** está al 4% de coincidencias.

Atentamente.

MSc. Orlando Philco Asqui

Tutor

## **Dedicatoria**

Con todo mi cariño y amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, a ustedes por siempre mi corazón y mi agradecimiento.

Papá y Mamá.

## **Agradecimiento**

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Manuel Romero Paz MSc.**  
DECANO O DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Luis Orlando Philco Asqui MSc.**  
COORDINADOR DE TITULACIÓN

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Bayardo Bohórquez Escobar**

OPONENTE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
RESUMEN .....	XV
ABSTRACT.....	XVI
CAPÍTULO 1.....	2
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	2
1.1 Generalidades.....	2
1.2 Planteamiento del problema.....	3
1.3 Objetivo General .....	3
1.4    Objetivos Específicos.....	3
1.5 Metodología de Investigación.....	3
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Producción del Aire Comprimido.....	5
2.1.1 Clasificación del compresor.....	8
2.1.1.1 Compresor de émbolo o pistón .....	9
2.1.1.2 Compresor de émbolo de dos etapas.....	9
2.2 Tratamiento del aire comprimido.....	10
2.2.1 Filtros .....	11
2.2.2 Enfriador .....	12
2.2.3 Filtros de línea principal. ....	12
2.2.4 Secadores refrigerados .....	13
2.2.5 Secadores químicos.....	14
2.2.5.1 Secadores de adsorción.....	14

2.2.5.2 Secadores de absorción .....	15
2.2.6 Lubricador.....	15
2.2.7 Regulación de presión.....	17
2.2.8 Válvula de seguridad.....	18
2.2.9 Regulador de presión sin alivio.....	19
2.2.10 Unidad de servicio .....	19
2.2.10.1 Filtración en las líneas de aire comprimido .....	20
2.3 Secado del aire comprimido.....	23
2.3.1 Separador de aceite/agua.....	26
2.4 Actuadores Neumáticos .....	27
2.4.1 Tipos de Actuadores Neumáticos .....	27
2.5 Redes de Distribución .....	30
CAPÍTULO 3.....	32
CRITERIOS PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO .....	32
3.1 Sistemas de aire comprimido .....	32
3.2 Fuente y distribución del aire comprimido .....	32
3.3 Dimensionado de las tuberías .....	34
3.4 Tipos de red para instalaciones de aire comprimido.....	35
3.5 Demanda de aire comprimido (Caudal requerido).....	40
3.6 Diseño de trayectoria de la tubería del sistema.....	43
3.6.1 Material de tuberías.....	44
3.6.2 Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones .....	45
CAPÍTULO 4.....	49
DISEÑO DE INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LABORATORIO DE NEUMÁTICA.....	49

4.1 Localización.....	49
4.2. Red de distribución .....	49
4.3 Sala o cuarto del compresor.....	52
4.3.1 Ubicación del compresor de aire para laboratorio de Neumática .....	52
4.3 Consumo de aire del laboratorio .....	53
4.4 Cálculo de tubería .....	55
4.5 Tendido de la red .....	57
4.6 Implementación de red de distribución de aire comprimido .....	61
Conclusiones.....	65
Recomendaciones .....	67
Referencias Bibliográficas .....	68
Anexo 1. Diagrama para la elección de compresor .....	72
Anexo 2: Vista tridimensional del laboratorio de Neumática.....	73
Anexo 3. Herramientas para cortar tubos de aluminio de 25 mm .....	74
Anexo 4. Presupuesto.....	76
Anexo 5. Practicas de circuitos neumáticos.....	77

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2.

Figura 2. 1 Partes de un compresor de aire .....	6
Figura 2. 2 Compresor de émbolo o pistón.....	9
Figura 2. 3 Compresor de émbolo de dos etapas .....	10
Figura 2. 4 Etapas del tratamiento del aire. ....	11
Figura 2. 5 Filtro de aire y trampa de agua. ....	13
Figura 2. 6 Secadores refrigerados.....	13
Figura 2. 7 Secador de adsorción .....	14
Figura 2. 8 Secador de absorción .....	15
Figura 2. 9 Lubricador .....	16
Figura 2. 10 Tipos de regulación de la presión. ....	17
Figura 2. 11 Válvula de seguridad .....	18
Figura 2. 12 Regulador de presión sin alivio. ....	19
Figura 2. 13 Unidad de mantenimiento o servicio .....	20
Figura 2. 14 Unidades de mantenimiento .....	20
Figura 2. 15 Secador frigorífico.....	24
Figura 2. 16 Secador de adsorción regenerado por purga.....	25
Figura 2. 17 Filtro de membrana.....	26
Figura 2. 18 Diseño de una red de distribución .....	30

### CAPÍTULO 3.

Figura 3. 1 Instalaciones del aire comprimido.....	34
Figura 3. 2 Nomograma de diámetro de tubería .....	35
Figura 3. 3 Red de distribución abierta .....	35
Figura 3. 4 Red de distribución cerrada .....	36

Figura 3. 5 Esquema de conexión red de aire comprimido cerrada básica.....	37
Figura 3. 6 Calculador de diámetros nominales para tuberías de compresores ...	47
<b>CAPÍTULO 4.</b>	
Figura 4. 1 Laboratorio de Neumática y compresores de aire comprimido.....	49
Figura 4. 2 Red de distribución de aire comprimido .....	50
Figura 4. 3 Tubo de aluminio.....	51
Figura 4. 4 Características del tubo de aluminio.....	51
Figura 4. 5 Cuarto de compresor en exteriores del laboratorio de Neumática ....	53
Figura 4. 6 Diseño de red de distribución de aire comprimido.....	57
Figura 4. 7 Instalación de aire comprimido en laboratorio de Neumática de la FETD.....	58
Figura 4. 8 Acople para tubos (roscados y con arandela) de diámetros 25mm ...	58
Figura 4. 9 Uniones para tubos de aluminio diámetros de 25 mm .....	59
Figura 4. 10 Sellado o conexión de acople .....	59
Figura 4. 11 Conexión y desconexión de tubos y acoples .....	60
Figura 4. 12 Válvula de cierre.....	60
Figura 4. 13 Ubicación de válvulas de cierre en diversas derivaciones.....	61
Figura 4. 14 Instalación del compresor de pistón 3 hp .....	62
Figura 4. 15 Instalación de la Válvula de cierre y unidad de mantenimiento.....	62
Figura 4. 16 Conexión de unidad de mantenimiento y unidad de derivación en tablero .....	63
Figura 4. 17 Ajuste de derivador de aire en tablero de trabajo FESTO.....	63
Figura 4. 18 Conexión de mangueras en tablero FESTO .....	64

## **ÍNDICE DE TABLAS**

### **CAPÍTULO 2.**

Tabla 2. 1 Datos de partículas en neumática.....	20
Tabla 2. 2 Características, materiales más usados y accesorios de los actuadores neumáticos .....	27
Tabla 2. 3 Características de los Actuadores Neumáticos .....	28

### **CAPÍTULO 3.**

Tabla 3. 1 Caudal aproximado del compresor .....	38
Tabla 3. 2 Valores de consumo de herramientas neumáticas .....	41
Tabla 3. 3. Tabla de factor de simultaneidad.....	41
Tabla 3. 4 Características de compresores .....	42
Tabla 3. 5 Propiedades del aluminio y de una aleación de acero .....	44
Tabla 3. 6 Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio (AA55083) para espesores entre 1.60 y 38.1 mm .....	44

### **CAPÍTULO 4**

Tabla 4. 1 Cálculo de tubería .....	56
Tabla 4. 2 Equivalencias para tubos según mm.....	56

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación propone diseñar e implementar las instalaciones de aire comprimido para el laboratorio de Neumática, el objetivo principal es proponer el diseño de la instalación de tuberías que alimenten a tres tableros de trabajo FESTO más una tubería adicional con derivación a dos tomas de aire comprimido para alimentar de aire comprimido a equipos neumáticos y electro neumáticos que son proyectos realizados por estudiantes. A través de la metodología de investigación tipo descriptiva se establece un marco teórico de los componentes neumáticos, se emplea además el método analítico para calcular o dimensionar los componentes de una instalación de aire comprimido, también el método empírico para la implementación de la instalación de aire comprimido. El resultado es la aportación de un adecuado laboratorio de neumática con alimentación proyectada en más del 30% de su capacidad de consumo neumático.

**PALABRAS CLAVES:** Aire Comprimido, Neumática, Compresor, Laboratorio, FESTO

## **ABSTRACT**

The present titration work proposes to design and implement the compressed air facilities for the Pneumatic laboratory, the main objective is to propose the design of the installation of pipes that feed three FESTO work boards plus an additional pipe with derivation to two intakes of compressed air to feed compressed air to pneumatic and electro-pneumatic equipment that are projects carried out by students. Through the descriptive methodology research methodology is established a theoretical framework of the pneumatic components, is also used the analytical methods to calculate or size the components of a compressed air installation, also the empirical method for the implementation of the installation of air compressed. The result is the support of a suitable tire laboratory with projected power in more than 30% of its capacity of pneumatic consumption.

**KEYWORDS:** Compressed Air, Pneumatic, Compressor, Laboratory, FESTO

# CAPÍTULO 1

## GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.1 Generalidades

La tecnología del aire comprimido y gases, por muy ‘estática’ que parezca, se encuentra en constante evolución. Los fabricantes llevan muchos años investigando sobre nuevos diseños que se adapten a las diferentes exigencias del mercado. Los compresores o las bombas de vacío, tienen su aplicación en cientos de industrias y procesos, por lo que las alternativas y la capacidad de adaptación de los diseños de los fabricantes, son múltiples. (Mundo Compresor, 2018)

Los sistemas neumáticos y electro-neumáticos tienen diversas aplicaciones en la industria y en el aprendizaje de las carreras de ingeniería, como la Eléctrico-Mecánica; pues, es fundamental conocer y seleccionar dispositivos adecuados para la operación de un proceso industrial, incluso con la premisa de lograr eficiencia. Además, se debe iniciar desde el origen de la fuente de ‘energía’ de todo sistema neumático.

No obstante, en este trabajo se dará a conocer los elementos que se utilizan para la producción de aire comprimido, criterios de mantenimiento para prolongar la vida útil del sistema, los requisitos que necesita una red de distribución para tener un óptimo funcionamiento del mismo. Asimismo, es importante conocer de qué forma un sistema neumático y electro-neumático puede llegar a funcionar de manera eficiente, y de que formas evitar que el sistema tenga menos fugas de aire comprimido.

Como aporte de este trabajo de titulación, está la propuesta de una instalación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD. De esta manera se deberá plantear un diseño y características de tuberías, accesorios y otros dispositivos relacionados en instalaciones industriales de aire comprimido.

## **1.2 Planteamiento del problema**

Actualmente, el laboratorio de la FETD, opera con dos compresores de baja capacidad de producción de aire comprimido y el abastecimiento para tres tableros con seis puestos de trabajo es deficiente, por cuanto se necesita de más capacidad de generación del aire comprimido para la operación de dispositivos neumáticos.

## **1.3 Objetivo General**

Estudiar la producción del aire comprimido para sistemas electro-neumáticos y propuesta de diseño e implementación de una instalación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo FETD, de la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

## **1.4 Objetivos Específicos**

1. Describir los diferentes componentes de un sistema neumático
2. Establecer criterios técnicos para dimensionar la instalación de aire comprimido en el laboratorio de Neumática de la FETD.
3. Realizar la instalación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD.

## **1.5 Metodología de Investigación**

El tipo de investigación escogida para el presente trabajo de titulación corresponden al:

- **Método Descriptivo;** se emplea este método por cuanto se detalla los componentes empleados en la neumática, así como de dispositivos para el tratamiento del aire comprimido.
- **Método Analítico.** - Se emplea el método analítico por cuanto se calcula diámetros de tubería mediante variables de presión y carga o consumo, para su posterior instalación de tubería y accesorios para el tratamiento del aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD.
- **Método Empírico:** Por cuanto se basa en un conocimiento para responder directamente a una necesidad práctica. Se valora desde el punto de vista

práctico, por aquello se pone en práctica, las habilidades y conocimiento para dimensiona e instala tuberías y componentes de tratamiento del aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD.

## CAPÍTULO 2

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Producción del Aire Comprimido

La producción de aire comprimido, utiliza como materia prima el aire que es obtenido de compresores. Un sistema neumático está compuesto por un compresor o generador de aire comprimido, acondicionador de aire, depósito acumulador, redes de distribución, aplicaciones neumáticas que se constituyen por elementos de control, diferentes actuadores.

Los compresores son sistemas que elevan la presión del aire que absorben del ambiente hasta el valor que se desee. Para instalaciones neumáticas es óptimo utilizar compresores que puedan crear, almacenar y regula el suministro de aire comprimido a los diferentes dispositivos que necesitan del aire comprimido para su funcionamiento. El valor total que se necesita para las instalaciones neumáticas se lo determina mediante el aire comprimido que fluye por una sección de trabajo por el tiempo. (Jimenez, 2012) (Educativa, Producción del aire comprimido , 2006)

El flujo de aire puede ser medido en:  $m^3/h$ ,  $m^3/ min$ ,  $l/min$  o  $l/s$ , en (1) se aprecia el enunciado anterior:

$$Q = V/t = (S \cdot L)/t = S \cdot v \quad (1)$$

Donde:

V – Representa el volumen del fluido que atraviesa la sección de la tubería en  $m^3$  o litros (l).

S – Representa la sección de la tubería en  $m^2$ .

L – Representa la longitud de la tubería en metros.

t – Representa el tiempo en segundos o minutos.

v – Representa la velocidad del movimiento del fluido (Jimenez, 2012)

Se debe tomar en cuenta el lugar donde serán instalados estos sistemas de aire comprimido, ya que deben estar en un lugar donde no haya mucho polvo y fresco (mientras se más fresco, mejor para el sistema). El aire comprimido que es

recolectado del exterior pasa un por un filtro que quita toda las impurezas que contenga el mismo, una vez que el aire está limpio pasa por la cámara de compresión (lugar en donde será comprimido el aire), y después es enviado a un depósito que contiene una salida regulable del aire, esta salida es conectada a la instalación neumática, cabe recalcar que este depósito tiene otra salida por la cual se elimina el agua que se genera por efecto de la condensación. (Jimenez, 2012)

Los compresores cuentan con dispositivos de seguridad y de control del aire comprimido, como son:

El regulador de presión. – Controla la presión del circuito neumático, por tal motivo contiene una llave de paso y un manómetro que indica la presión de salida.

El reóstato. – Mantiene la presión en el interior del depósito según los valores que se necesitan, ya que actúa bajo las órdenes del manómetro y del sistema de control.

Es importante contar con esta válvula porque evita que el depósito se rompa por exceso de presión. En la Figura 2.1 se aprecia un compresor de aire con sus partes, respectivamente diferenciadas. (Jimenez, 2012) (Arce, 2012).

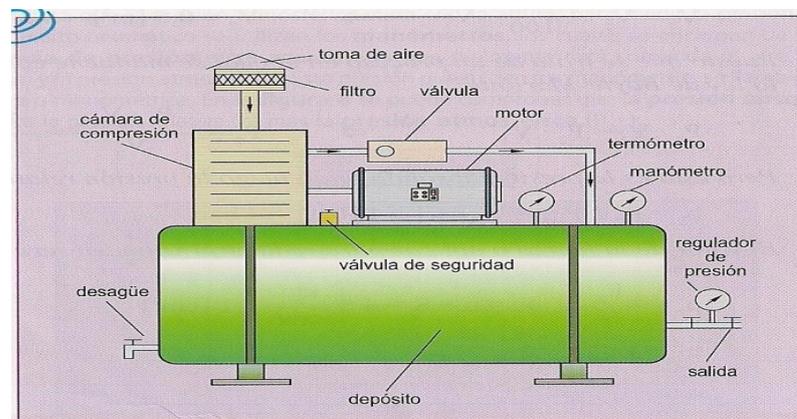


Figura 2. 1 Partes de un compresor de aire

Fuente: (Jimenez, 2012)

Una válvula de seguridad se activa cuando la presión del sistema supera los valores iniciales y se abre dejando escapar el aire al exterior.

El aire que es captado del exterior para suministrar al compresor debe contener aire fresco, seco y limpio, esto ayuda a alargar el tiempo de vida de los equipos, por tal

motivo es necesario eliminar todas las partículas de polvo, humedad, y algunos óxidos metálicos. (Educativa, Producción del aire comprimido , 2006).

El Bar es la unidad de presión muy utilizada en aire comprimido. Su equivalencia más inmediata es a la atmósfera o al kg/cm<sup>2</sup>. Cualquiera de las tres unidades es habitual en los catálogos de aire comprimido. Su relación es la siguiente:

$$1 \text{ bar} = 100.000 \text{ Pa} = 1,01972 \text{ kgf/cm}^2$$

$$1 \text{ atm} = 101.325 \text{ Pa} = 1,01325 \text{ bar}$$

Según el portal industrial digital Mundo Compresor (2018) señala qué, lo que se conoce habitualmente como un compresor de gases, comprende una serie de máquinas con diferentes estructuras y diseños. Por su aplicación principal se podrían dividir en cinco grupos:

- **Compresores:**

Máquinas diseñadas para comprimir gases a cualquier presión, por encima de la presión atmosférica. En general, un compresor trabaja con presiones superiores a los 4 bares.

- **Ventiladores:**

Máquinas diseñadas para comprimir gases a presiones muy bajas, cercanas a la presión atmosférica. De hecho, los ventiladores apenas incrementan la presión unos gramos sobre la atmosférica. (Mundo Compresor, 2018).

- **Soplantes:**

Compresores que trabajan a baja presión. Deberían estar incluidos dentro del mismo grupo que los compresores, pero se diferencian para evitar confusiones. Las presiones de estos equipos son superiores a las de los ventiladores, pero se considera que están por debajo de los 4 bares.

- **Bombas de vacío:**

Son también compresores, pero su trabajo no está pensado para comprimir el aire, sino para aspirarlo de un recipiente o sistema, bajando la presión a valores por debajo de 1 atmósfera. Las bombas de vacío también se pueden usar como un

compresor, pero en aplicaciones muy específicas y con valores de presión muy bajos.

### **2.1.1 Clasificación del compresor**

Algunos especialistas coinciden en dos grandes grupos de compresores y estos a su vez se subdividen en otros compresores.

#### **1. Compresores de desplazamiento positivo:**

El principio de funcionamiento de estos compresores se basa en la disminución del volumen del aire en la cámara de compresión donde se encuentra confinado, produciéndose el incremento de la presión interna hasta llegar al valor de diseño previsto, momento en el cual el aire es liberado al sistema.

#### **2. Compresores dinámicos:**

El principio de funcionamiento de estos compresores se basa en la aceleración molecular. El aire es aspirado por el rodete a través de su campana de entrada y acelerado a gran velocidad. Después es descargado directamente a unos difusores situados junto al rodete, donde toda la energía cinética del aire se transforma en presión estática. A partir de este punto es liberado al sistema.

Ambos sistemas pueden trabajar con una o varias etapas, en función de la presión final requerida para el aire comprimido. En el caso de compresores multi-etápicas, el aire, al ser liberado de la primera etapa, pasa directamente a la segunda, donde el proceso descrito anteriormente se repite. Entre cada etapa, se instala un refrigerador intermedio que reduce la temperatura de compresión hasta el valor requerido por la etapa siguiente. (Mundo Compresor, 2018)

Cada grupo de compresores usa diferentes diseños para el proceso de compresión. A continuación, se describe los principales de cada uno de ellos.

#### **Compresores de Desplazamiento Positivo**

- Compresor de Pistón
- Compresor de Tornillo
- Compresor de Paletas
- Compresor de Lóbulos O Émbolos Rotativos

- Compresores *Scroll*
- Bombas de Vacío

### Compresores Dinámicos

- Compresores Centrífugos Radiales
- Compresores Centrífugos Axiales

A continuación se detalla las características del motor tipo pistón.

#### 2.1.1.1 Compresor de émbolo o pistón

En este compresor el aire es aspirado al interior de un cilindro, por la acción de un pistón accionado por una biela y un cigüeñal es decir la biela-manivela que gira y arrastra el émbolo hacia abajo, mientras la válvula de admisión deja entrar el aire, hasta llenarse y la válvula de admisión se cierra y el embolo que comprime el aire asciende, finalmente se abre la válvula de escape y provoca la circulación del aire comprimido al sistema. En la Figura 2.2 se aprecia un compresor de émbolo. (Educativa, Producción del aire comprimido , 2006)

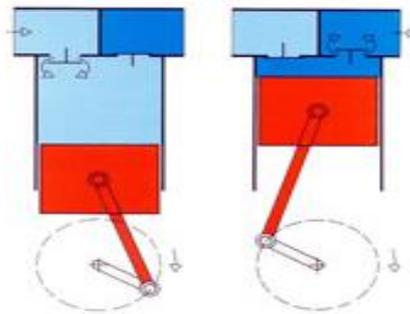


Figura 2. 2 Compresor de émbolo o pistón

Fuente: (Educativa, Producción del aire comprimido , 2006)

#### 2.1.1.2 Compresor de émbolo de dos etapas

Si con una sola etapa de compresión no se alcanza la presión necesaria, se debe recurrir a una segunda etapa. Pues, al aumentar la presión provoca una elevación de la temperatura, por lo que debe intercalarse entre las dos etapas de compresión

un cambiador de calor que reduzca la temperatura del aire para que ésta no sea peligrosa para los equipos. (Educativa, Producción del aire comprimido , 2006).

En la figura 2.3 se muestra el compresor de émbolo o pistón de dos etapas; en ella se puede ver cómo el cilindro de la derecha en un movimiento descendente, está aspirando el aire del exterior, mientras que el cilindro de la izquierda, con un movimiento ascendente, lo está comprimiendo.

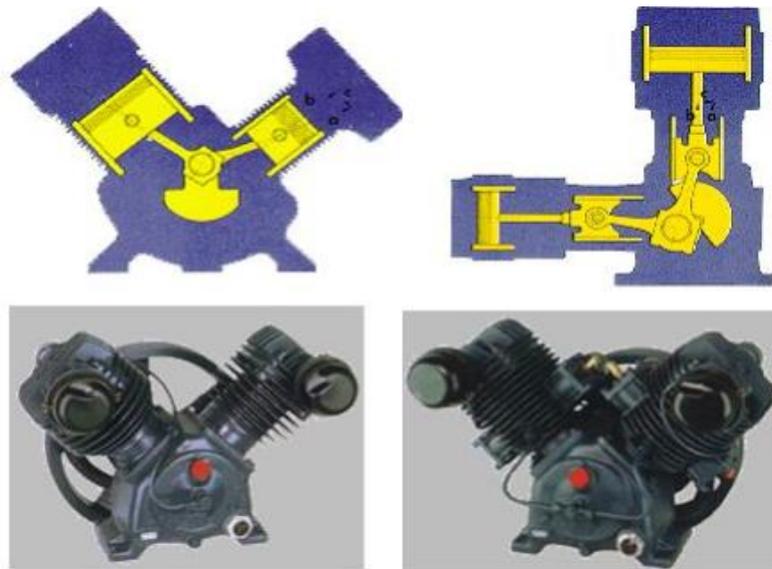


Figura 2. 3 Compresor de émbolo de dos etapas

**Fuente:** (Mundo Compresor, 2018)

Los compresores de pistón pueden ser lubricados o exentos de aceite. En el caso de los compresores exentos, la cámara de aspiración y compresión queda aislada de cualquier contacto con el lubricante del compresor, trabajando en seco y evitando que el aire comprimido se contamine con los lubricantes del equipo (Automatización Industrial, 2011).

La propuesta del compresor para el laboratorio de la FETD, será la adquisición de un compresor de pistón de dos etapas.

## **2.2 Tratamiento del aire comprimido**

Para un funcionamiento satisfactorio del sistema neumático, el aire comprimido debe limpiarse y secarse. El aire atmosférico está contaminado con polvo, humo y es húmedo. Estas partículas pueden causar el desgaste de los componentes del

sistema y la presencia de humedad puede causar corrosión. Por lo tanto, es esencial tratar el aire para deshacerse de estas impurezas.

El tratamiento del aire se puede dividir en tres etapas, como se muestra en la Figura 2.4.

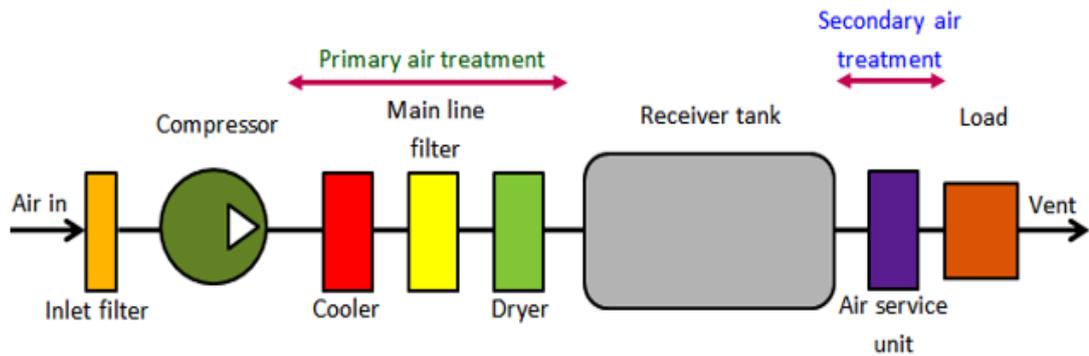


Figura 2. 4 Etapas del tratamiento del aire.

Fuente: (NPTEL, 2013)

En la primera etapa, se evita que las partículas de gran tamaño entren en el compresor por un filtro de admisión. El aire que sale del compresor puede estar húmedo y puede estar a alta temperatura. El aire del compresor se trata en la segunda etapa. En esta etapa, la temperatura del aire comprimido se reduce con un enfriador y el aire se seca con un secador (Automatización Industrial, 2011).

También se proporciona un filtro en línea para eliminar las partículas contaminantes presentes. Este tratamiento se llama tratamiento de aire primario. En la tercera etapa, que es el proceso de tratamiento de aire secundario, se lleva a cabo un filtrado adicional. Un lubricador introduce una fina niebla de aceite en el aire comprimido. Esto ayudará en la lubricación de los componentes móviles del sistema al que se aplicará el aire comprimido.

### 2.2.1 Filtros

Para evitar daños en el compresor, los contaminantes presentes en el aire deben filtrarse. Esto se hace mediante el uso de filtros de entrada. Estos pueden ser filtros secos o húmedos. Los filtros secos utilizan cartuchos desechables. En el filtro

húmedo, el aire entrante pasa a través de un baño de aceite y luego a través de un filtro de malla de alambre fino (Jimenez, 2012).

Las partículas de suciedad se adhieren a las gotas de aceite durante el burbujeo y se eliminan con una malla de alambre a medida que pasan a través de ella. En el filtro seco los cartuchos son reemplazados durante el servicio. Los filtros húmedos se limpian utilizando una solución detergente.

### **2.2.2 Enfriador**

A medida que el aire se comprime, la temperatura del aire aumenta. Por lo tanto el aire necesita ser enfriado. Esto se hace mediante el uso de un refrigerador. Es un tipo de intercambiador de calor. Hay dos tipos de refrigeradores comúnmente empleados a saber. Aire enfriado y agua enfriada. En el tipo enfriado por aire, el aire ambiente se usa para enfriar el aire comprimido a alta temperatura, mientras que en el tipo enfriado por agua, el agua se usa como medio de enfriamiento. Estos son enfriadores de tipo contraflujo donde el medio de enfriamiento fluye en la dirección opuesta al aire comprimido. Durante el enfriamiento, el vapor de agua presente se condensará y se puede drenar más tarde.

### **2.2.3 Filtros de línea principal.**

Estos filtros se utilizan para eliminar los vapores de agua o contaminantes sólidos presentes en las líneas principales de los sistemas neumáticos. Estos filtros se discuten en detalle a continuación.

#### **Filtro de aire y trampa de agua.**

El filtro de aire y la trampa de agua se utilizan para

- Evitar que entren contaminantes sólidos en el sistema.
- Condensa y elimina el vapor de agua que está presente en el aire comprimido.

El cartucho del filtro está hecho de latón sinterizado. El esquema del filtro se muestra en la Fig. 2.5. El grosor del cartucho sinterizado proporciona un paso aleatorio en zigzag para que el aire fluya, lo que ayuda a detener las partículas sólidas.

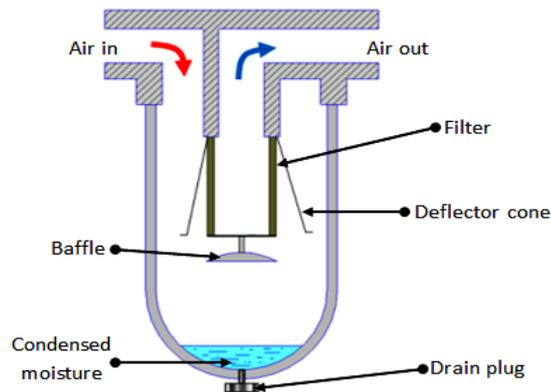


Figura 2. 5 Filtro de aire y trampa de agua.

Fuente: (NPTEL, 2013)

El aire que entra en el filtro gira alrededor debido al cono deflector. La acción centrífuga hace que salgan los grandes contaminantes y el vapor de agua, que golpean el recipiente de vidrio y se acumulan en la parte inferior. Contiene una placa deflectora para evitar que el aire turbulento salpique el agua en el cartucho del filtro. En la parte inferior del recipiente del filtro hay un tapón de drenaje que se puede abrir manualmente para drenar el agua depositada y las partículas sólidas.

#### 2.2.4 Secadores refrigerados

Consta de dos intercambiadores de calor, compresor de refrigerante y un separador. El circuito del sistema se muestra en la Figura 2.6.

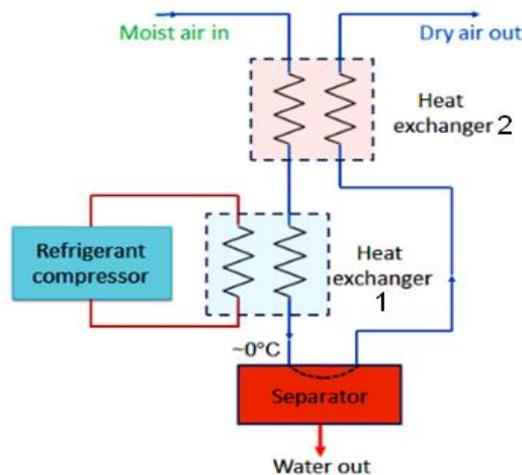


Figura 2. 6 Secadores refrigerados.

Fuente: (NPTEL, 2013)

La máquina secadora enfría el aire justo por encima de  $0^{\circ}\text{C}$ , lo que condensa el vapor de agua. El condensado es recogido por el separador. Sin embargo, tal aire a baja temperatura puede no ser necesario en la aplicación. Por lo tanto, este aire frío se usa para enfriar el aire a alta temperatura que sale del compresor en el intercambiador de calor 2. El aire seco a temperatura moderada que sale del intercambiador de calor 2 se usa para la aplicación real; mientras que la temperatura reducida del aire del compresor se enfriará aún más en el intercambiador de calor 1. Por lo tanto, la eficiencia del sistema aumenta al emplear un segundo intercambiador de calor.

### 2.2.5 Secadores químicos

Cuando se necesita aire seco absoluto, se utilizan secadores químicos. Estos secadores son de dos tipos, a saber, el secador por adsorción y el secador por absorción.

#### 2.2.5.1 Secadores de adsorción

En los secadores de adsorción, la humedad se acumula en los bordes afilados del material granular. Los materiales adsorbentes pueden ser dióxido de silicio (gel de sílice) u otros materiales que existen en estado hidratado y deshidratado (sulfato de cobre, alúmina activada). La humedad del material adsorbente se puede liberar calentando en la columna como se muestra en la Figura 2.7.

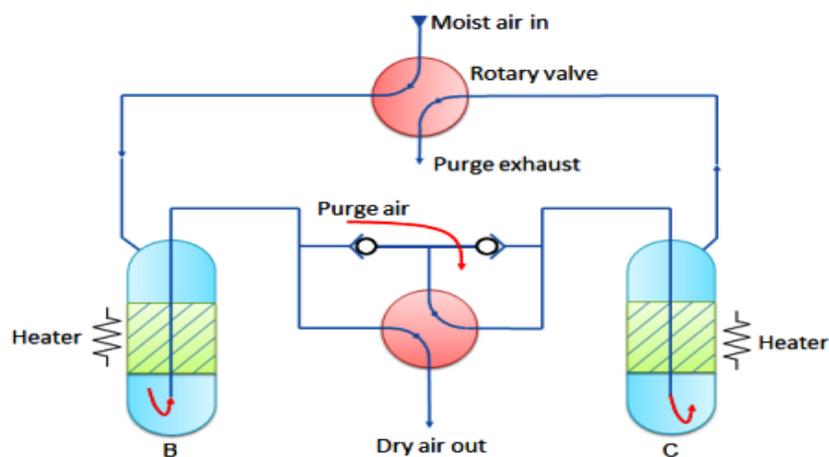


Figura 2. 7 Secador de adsorción

Fuente: (NPTEL, 2013)

En un momento dado, una columna secará el aire mientras que la otra regenerará el material de adsorción calentando y pasando aire de purga bajo. La columna B seca el aire y la columna C se regenera. Las válvulas rotativas se abren utilizando el reloj a intervalos regulares para revertir el proceso. Estos secadores también son llamados secadores regenerativos. (Mundo Compresor, 2018)

### 2.2.5.2 Secadores de absorción

Estos también son llamados como secadores delicuescentes. La figura 6.3.5 muestra un esquema de la misma. Utiliza agentes químicos como el pentóxido fosfórico o el cloruro de calcio como agentes de secado. La humedad en el aire comprimido reacciona químicamente con el agente de secado. El agente se disuelve para formar un compuesto líquido que se acumula en la parte inferior de la secadora donde se puede drenar. El agente delicuescente se debe reponer regularmente a medida que se consume durante el proceso de secado.

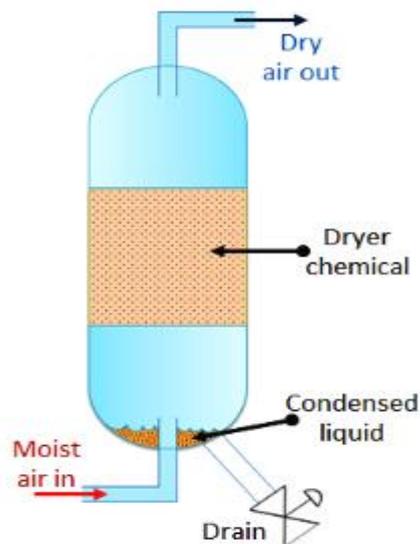


Figura 2. 8 Secador de absorción

Fuente: (NPTEL, 2013)

### 2.2.6 Lubricador

El aire comprimido primero se filtra y luego se pasa a través de un lubricador para formar una niebla de aceite y aire para proporcionar lubricación a los componentes de acoplamiento. La figura 6.3.6 muestra el esquema de un lubricador típico.

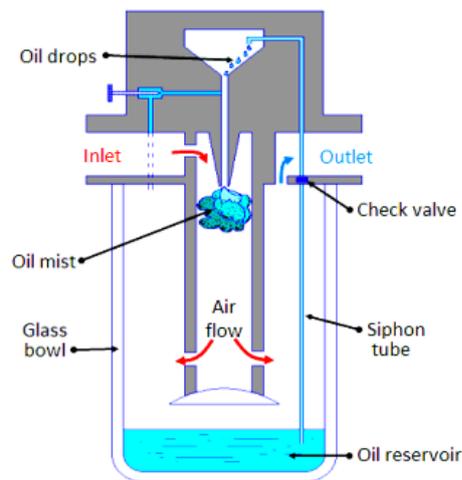


Figura 2. 9 Lubricador

Fuente: (NPTEL, 2013)

El principio de funcionamiento del venturímetro se sigue en la operación del lubricador. El aire comprimido de la secadora entra en el lubricador. Su velocidad aumenta debido a un diferencial de presión entre el cambiador superior e inferior (depósito de aceite). Debido a la baja presión en la cámara superior, el aceite es empujado dentro de la cámara superior desde el depósito de aceite a través de un tubo de sifón con válvula de retención (Mundo Compresor, 2018).

La función principal de la válvula es controlar la cantidad de aceite que pasa a través de ella. Las gotas de aceite dentro de la zona regulada donde la velocidad del aire es mucho mayor y este aire de alta velocidad rompe las gotas de aceite en pequeñas partículas. Así se genera una niebla de aire y aceite. El diferencial de presión a través de las cámaras se ajusta mediante una válvula de aguja. Es difícil mantener un aire mezclado con aceite en el receptor de aire ya que el aceite puede asentarse (Sigaltec, 2015).

De este modo, el aire se lubrica durante el proceso de tratamiento de aire secundario. El aceite de baja viscosidad forma una neblina mejor que el aceite de alta viscosidad y, por lo tanto, garantiza que el aceite esté siempre presente en el aire.

### 2.2.7 Regulación de presión

En los sistemas neumáticos, durante el flujo de aire comprimido a alta velocidad, hay una caída de presión dependiente del flujo entre el receptor y la carga (aplicación). Por lo tanto, la presión en el receptor siempre se mantiene más alta que la presión del sistema. En el sitio de aplicación, la presión se regula para mantenerla constante. Hay tres formas de controlar la presión local, que se muestran en la Figura 2.10

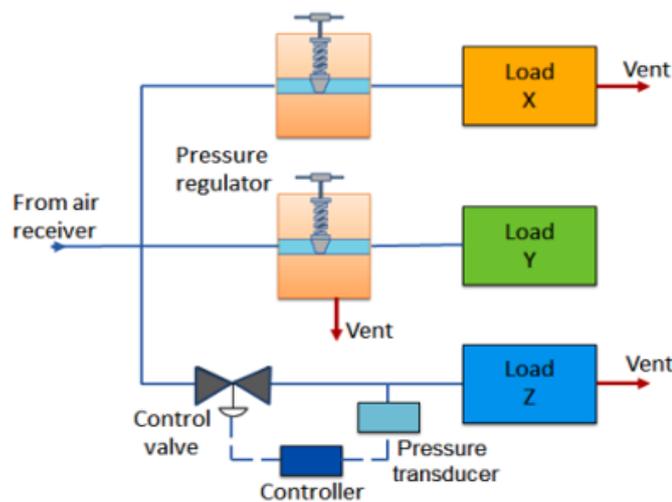


Figura 2. 10 Tipos de regulación de la presión.

Fuente: (NPTEL, 2013)

En el primer método, la carga X ventila el aire a la atmósfera continuamente. El regulador de presión restringe el flujo de aire a la carga, controlando así la presión del aire. En este tipo de regulación de presión, se requiere un flujo mínimo para operar el regulador. Si la carga es un tipo de punto muerto que no consume aire, la presión en el receptor aumentará hasta la presión del múltiple. Este tipo de reguladores se denominan "reguladores sin alivio", ya que el aire debe pasar a través de la carga (Sigaltec, 2015).

En el segundo tipo, la carga Y es una carga de punto muerto. Sin embargo, el regulador ventila el aire a la atmósfera para reducir la presión. Este tipo de regulador se denomina "regulador de alivio" (Neumática Básica, 2017).

El tercer tipo de regulador tiene una carga muy grande Z. Por lo tanto, su requerimiento de volumen de aire es muy alto y no se puede cumplir con un simple

regulador. En tales casos, se utiliza un circuito de control que comprende un transductor de presión, un controlador y una válvula de ventilación. Debido a la gran carga, la presión del sistema puede elevarse por encima de su valor crítico. Es detectado por un transductor. Luego, la señal será procesada por el controlador que dirigirá la válvula que se abrirá para ventilar el aire. Esta técnica también se puede usar cuando es difícil montar la válvula reguladora de presión cerca del punto donde se necesita la regulación de presión.

### 2.2.8 Válvula de seguridad

La válvula de alivio es el tipo más simple de dispositivo de regulación de presión. El esquema de su construcción y funcionamiento se muestra en la Figura 2.11, se utiliza como dispositivo de respaldo si falla el control de presión principal.

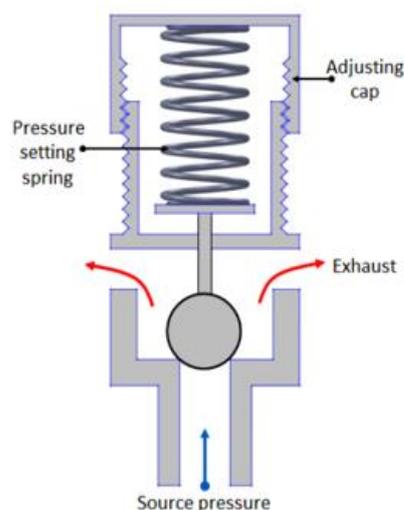


Figura 2. 11 Válvula de seguridad

Fuente: (NPTEL, 2013)

Consiste en una válvula de tipo bola sujeta al asiento de la válvula por un resorte en tensión. La tensión del resorte se puede ajustar utilizando la tapa de ajuste. Cuando la presión del aire excede la presión de la tensión del resorte, la bola se desplaza de su asiento, liberando así el aire y reduciendo la presión. Un alivio se especifica por su intervalo de presión entre el craqueo y el flujo total, el rango de presión y el caudal. Una vez que la válvula se abre (presión de craqueo), el caudal depende del exceso de presión. Una vez que la presión cae por debajo de la presión de craqueo, la válvula se sella.

### 2.2.9 Regulador de presión sin alivio.

En un regulador de presión sin alivio (Fig. 2.12) la presión de salida es detectada por un diafragma que está precargado por un resorte de ajuste de presión. Si la presión de salida es demasiado baja, el resorte obliga al diafragma y al vástago a moverse hacia abajo, lo que abre la válvula para admitir más aire y elevar la presión de salida.

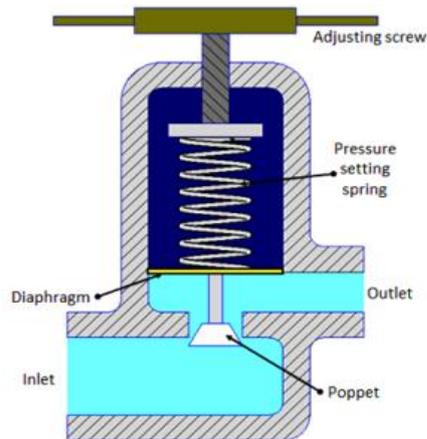


Figura 2. 12 Regulador de presión sin alivio.

Fuente: (NPTEL, 2013)

Si la presión de salida es demasiado alta, la presión de aire eleva el diafragma, por lo tanto, reduce el flujo de aire y causa una reducción de la presión de aire. Las salidas de aire se alejan a través de la carga. En estado estable, la válvula equilibrará la fuerza en el diafragma de la presión de salida con la fuerza preestablecida en el resorte.

### 2.2.10 Unidad de servicio

Durante la preparación del aire comprimido, varios procesos, como la filtración, la regulación y la lubricación, se llevan a cabo mediante componentes individuales. Los componentes individuales son: separador / filtro, regulador de presión y lubricador.

Las funciones preparatorias se pueden combinar en una unidad que se denomina "unidad de servicio". La Figura 2.13 muestra la representación simbólica de varios procesos involucrados en la preparación del aire y la unidad de servicio.

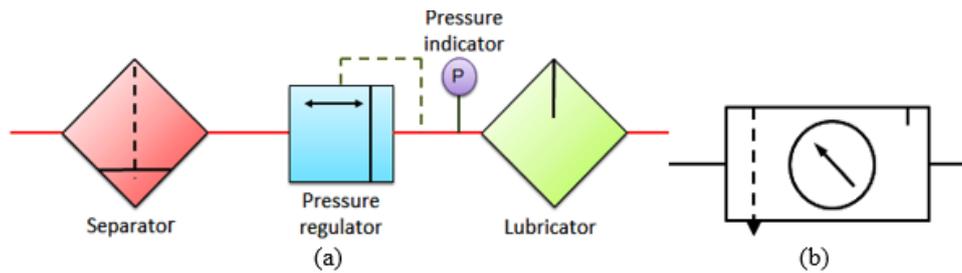


Figura 2. 13 Unidad de mantenimiento o servicio

Fuente: (NPTEL, 2013)

La figura 2,14 se muestran unidades de mantenimiento



Figura 2. 14 Unidades de mantenimiento

Fuente: (Industrial, 2010)

### 2.2.10.1 Filtración en las líneas de aire comprimido

Los filtros de línea son imprescindibles para la calidad del aire comprimido, pero al mismo tiempo, son los menos atendidos en las redes de aire.

Un filtro de línea es un equipo que se utiliza para el tratamiento del aire comprimido. Su principal misión es limpiar el aire comprimido de impurezas de todo tipo, incluso bacterianas.

Los filtros son los grandes aliados en las instalaciones de aire comprimido o gases. Con ellos se adapta la calidad del aire/gas a los requisitos de cada planta. Habitualmente, la forma de estimar el nivel de calidad de aire se realiza siguiendo los parámetros de la norma ISO 8573-1. (Mundo Compresor, 2018)

Esta normativa regula el nivel máximo de contaminantes en el aire comprimido, en lo referido a la cantidad de humedad, partículas y residual de aceite.

Tabla 2. 1 Datos de partículas en neumática

ISO 8573-1 : 2010 	CLASE	Partículas sólidas			Concentración mg/m <sup>3</sup>	Agua		Aceite
		Máximo número de partículas por m <sup>3</sup>				Punto de rocío a presión	Condensado líquido g/m <sup>3</sup>	Concentración total (líquido, aerosol y vapor)
		0,1 - 0,5 micras	0,5 - 1 micras	1 - 5 micras				mg/m <sup>3</sup>
0	Sujeto al acuerdo específico entre usuario y proveedor pero en valores más estrictos que la Clase 1							
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10	-	≤ -70 °C	-	0,01	
2	≤ 400.000	≤ 6000	≤ 100	-	≤ -40 °C	-	0,1	
3	-	≤ 90.000	≤ 1.000	-	≤ -20 °C	-	1	
4	-	-	≤ 10.000	-	≤ +3 °C	-	5	
5	-	-	≤ 100.000	-	≤ +7 °C	-	-	
6	-	-	-	≤ 5	≤ +10 °C	-	-	
7	-	-	-	5 - 10	-	≤ 0,5	-	
8	-	-	-	-	-	0,5 - 5	-	
9	-	-	-	-	-	5 - 10	-	
X	-	-	-	> 10	-	> 10	> 10	

Nota: (PROVALTEC, 2017)

En el artículo del portal Mundo compresor se describe el nivel de partículas contaminantes, aceites, agua en fase líquida y bacterias.

El ambiente desde el que aspiran el aire los compresores es muy variable. Por muy limpia que parezca la atmosfera que rodea a un compresor, seguro que puede contener algún elemento en suspensión que contamine nuestro sistema de aire comprimido. Desde la instalación más simple a la más compleja, como puede ser el aire medicinal, se debe analizar los límites de contaminación máxima admisibles y seleccionar el sistema de filtrado adecuado a cada caso. (Mundo Compresor, 2018)

Por su aplicación, se podrían clasificar según la siguiente tabla:

- Pre-filtros. Son los primeros filtros que se instalan después de los compresores. Su principal misión es eliminar las partículas gruesas que podrían ser aspiradas por el compresor. Son, en sí mismos, los filtros protectores de la red de filtrado que se instale a continuación. La mayoría de los fabricantes ofrecen estos filtros con capacidad coalescente, es decir, que pueden eliminar una pequeña cantidad de agua y aceite al mismo tiempo que eliminan las partículas sólidas. Su capacidad de filtrado suele ser superior a 1 micra y 1 mg/m<sup>3</sup> de aceite.

- Filtros intermedios. Se instalan a continuación de los pre-filtros y su misión es proteger los distintos accesorios y equipos que se instalan en la red de aire. Sus características se determinan en función de la calidad de aire requerida. Así se tendrá:

Filtros de partículas. Son como los pre-filtros pero de un mayor grado de filtrado. Para partículas hasta 0,1 micras y para aceite o agua hasta 0,1 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>. En la salida de los secadores de adsorción se suelen colocar estos filtros con un grado de 1 micra.

Filtros de carbón activo. Dedicados a la eliminación de vapores y olores de aceite. No los eliminan del todo, pero el residual que dejan es muy pequeño. Como media 0,003 mg/m<sup>3</sup>.

Torres de carbón activo. Se emplean para reducir al máximo los residuales de vapor de aceite y olores, con la idea de ser usadas en sistemas de respiración humana.

Filtros catalizadores. Utilizados en sistemas de respiración humana para la eliminación del Monóxido de Carbono (CO).

- Filtros finales. En este grupo se incluyen todos los filtros específicos de protección del sistema antes de su uso final. Como ejemplo, se consideran:

Filtros reguladores. Son pequeños filtros que se instalan sobre la máquina de accionamiento neumático. Están formados por un filtro de partículas y un regulador de presión. Para máquinas que necesitan lubricación, el propio equipo de filtrado monta un lubricador. Estos equipos son conocidos habitualmente como FRL.

Filtros bactericidas. Muy utilizados en aplicaciones medicinales o en laboratorios. Se utilizan para la eliminación de determinadas bacterias en el aire comprimido. Su mantenimiento requiere de una esterilización periódica. Dependiendo de cada fabricante, ésta se puede realizar con vapor o por autoclave. Tienen una vida útil muy corta, determinada por el número máximo de esterilizaciones admitidas.

La estructura de los filtros es muy similar entre los distintos fabricantes. Cambia principalmente el diseño interno, para mejorar las pérdidas de carga, la calidad de los materiales de los elementos filtrantes, el grado de eficiencia y el diseño del propio elemento.

### **2.3 Secado del aire comprimido**

El contenido de humedad del aire o de un gas comprimido se expresa normalmente por su punto de rocío, PR, en °C, es decir y tal como se ha descrito en el apartado 1.4, es la temperatura a que tendría que enfriarse el aire para que el vapor de agua contenido en él condense.

Los fabricantes de secadores para aire comprimido, para especificar la eficacia de un secador, usan la terminología del PR alcanzado con él para describir la sequedad del aire. Pueden dar el punto de rocío a la presión atmosférica (PR), o sea 760 mm Hg, o bien el referido a la presión de trabajo, denominado punto de rocío a presión (PRP). Este último es más alto, es decir  $PRP > PR$ , y es el que realmente deberá tenerse en cuenta, dado que el aire comprimido se emplea a presión, y por lo tanto, a la presión de trabajo es cuando pueden producirse condensaciones perjudiciales en las conducciones y en los sitios de consumo (Ingemecánica, 2012).

Existen varias tipologías de secadores, cada una con una complejidad y costo de instalación distinta. La variable que va a condicionar el coste y complejidad del secador necesario va a ser el punto de rocío a presión que tenga el aire a tratar. A menor punto de rocío mayor complejidad del secador.

Básicamente existen cinco técnicas aplicables al proceso de secado del flujo de aire: mediante refrigeración con separación posterior de la humedad, aplicando sobrepresión, secado por absorción, por adsorción y secado por membrana. A continuación, se desarrolla el principio de funcionamiento de algunos de ellos:

- La técnica de secado mediante refrigeración que incluye la separación posterior del condensado obtenido o también llamado secador frigorífico, consta de un doble intercambiador que mejora la eficiencia del sistema para alcanzar la calidad de aire necesaria.

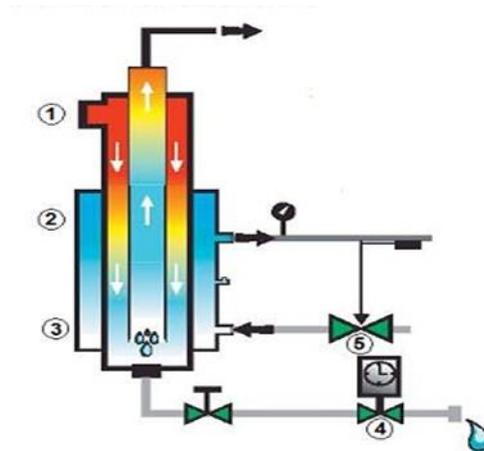


Figura 2. 15 Secador frigorífico

Fuente: (Ingemecánica, 2012)

Un intercambiador de calor tipo aire-aire (1) se utiliza para pre-refrigerar el aire caliente que sale del compresor con el flujo de aire frío que sale del secador.

Otro intercambiador tipo aire-refrigerante (2) refrigera el aire hasta la temperatura de punto de rocío a presión necesaria.

Un separador de humedad (3) recoge el agua que se vaya condensando a la vez que dispone de una válvula de drenaje (4) que evacue el condensado.

La presión o temperatura del refrigerante que condiciona la intensidad del refrigerador (2) es controlada por una válvula de expansión (5) que se gobierna automáticamente según la calidad de aire requerida.

- El secado por sobrepresión es otro de los métodos aplicados para secar el flujo de aire. Es un método sencillo, pero incurre en un alto costo energético, por lo que sólo es aplicable cuando se mueven caudales pequeños (Ingemecánica, 2012).

Básicamente consiste en comprimir el aire a mayor presión de la necesaria, con lo que se consigue aumentar la concentración de agua. Posteriormente se enfría la masa de aire, condensando el agua contenida. Ahora sólo queda expandir el aire hasta la presión requerida, con lo que se consigue una calidad de aire excelente con un punto de rocío a presión más bajo.

- El secado por absorción es una tecnología poco empleada que sólo permite reducir el punto de rocío de forma limitada. Básicamente consiste en emplear un material absorbente que capture las moléculas de vapor de agua. Es un proceso químico que utiliza como material absorbente cloruro sódico o ácido sulfúrico por lo que los riesgos de corrosión con este método son elevados. Como se dijo no se utiliza mucho esta forma de secar el aire.

- La tecnología del secador por adsorción también es muy simple. Consiste en hacer pasar el aire húmedo a través de un lecho con material que sea higroscópico, es decir que tenga tendencia por absorber el agua del ambiente.

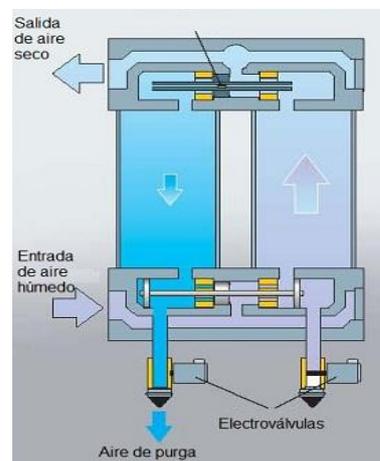


Figura 2. 16 Secador de adsorción regenerado por purga

Fuente: (Ingemeccánica, 2012)

Evidentemente, con el paso del tiempo el material acabará saturándose de agua, por lo que deberá regenerarse para volver a tener la capacidad de adsorción de la humedad ambiente.

Es por ello que este tipo de secadores disponga de dos torres relleno del material higroscópico. Así mientras una torre funciona reteniendo la humedad del flujo de aire, la otra torre estará en proceso de regeneración del material higroscópico, invirtiéndose el funcionamiento de cada torre cuando la torre que está trabajando termine por saturarse.

### 2.3.1 Separador de aceite/agua

La fracción de condensado que decante en el fondo de los depósitos de acumulación, así como la fracción separada en los filtros separadores de agua, resulta ser un efluente acuoso con contenidos en aceite, sobretodo si se utilizan compresores lubricados con aceite.

La reglamentación vigente en la mayoría de los países impide el vertido en la red pública de saneamiento de agua con contenidos en aceite, por lo que previo a su vertido, habrá que someter al agua recogida a un proceso de separación, que permita recuperar el contenido de aceite y almacenarlo de forma independiente, y poder así verter el agua limpia resultante a la red de saneamiento. El aceite separado será retirado por un gestor autorizado para el tratamiento de este tipo de residuos.

Toda esta labor la desempeña un tipo de equipos llamados separadores de aceite/agua, como pueden ser los filtros de membrana.

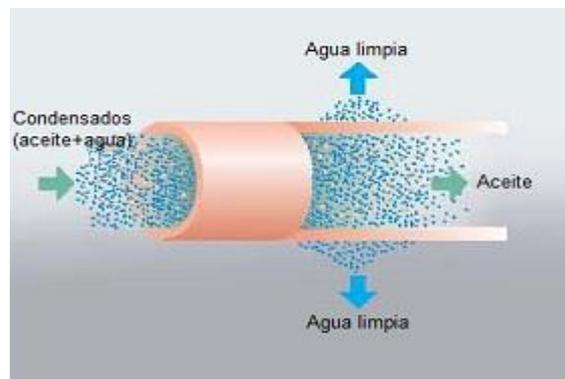


Figura 2. 17 Filtro de membrana

Fuente: (Ingemecánica, 2012)

El principio de funcionamiento de un filtro de membrana es muy sencillo. La estructura de constitución de la membrana es tal que deja pasar a las moléculas de pequeño tamaño (agua limpia), mientras que retiene en su interior las moléculas de mayor tamaño (aceite) que son separadas del flujo y conducidas hasta un contenedor para su almacenamiento.

## 2.4 Actuadores Neumáticos

En la tabla 2.2 se muestra los detalles de materiales y de accesorios de los actuadores neumáticos.

Tabla 2. 2 Características, materiales más usados y accesorios de los actuadores neumáticos

Características	Materiales más usados	Accesorios
Actuadores lineales o rotativos	Culatas, camisas y pistón: aluminio o acero.	Posicionadores neumáticos 3-15 psi, 4-20 mA o inteligentes.
Disponible en configuraciones de simple y doble efecto		Cajas de finales de carrera NEMA 4/4X o antiexplosiva.
Para desplazamientos todo/nada o regulación mediante posicionador inteligente		Calderines según códigos ASME.
Círculo de seguridad ante fallos de tensión y/o presión, de modo que el actuador se desplaza a la posición deseada o bien permanece en su última posición.	Vástago: acero inoxidable	Cajas de derivación NEMA 4/4X o antiexplosiva
Certificados para atmósferas explosivas disponibles (ATEX, etc)	Juntas: NBR, Vitón y otros.	Cuadros de control con el nivel de protección deseado (IP67, NEMA 4X).
Diámetros <i>standard</i> : 125, 160, 200, 250, 320, 400 mm (consultar para otras medidas).		<i>Tubing</i> y elementos de interconexión

Fuente. (Centralair, 2013)

### 2.4.1 Tipos de Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos se dividen en dos tipos:

1. Actuadores lineales, se encuentran:
  - Cilindro de simple efecto: realizan su trabajo en una dirección. Estos cilindros tienen diferentes formas de construcción.
  - Cilindro de doble efecto: realizan su trabajo en diferentes direcciones. (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)
2. Actuadores de movimiento rotativo

- Motor de émbolo radial
- Motor de aletas
- Turbomotores (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

En la tabla 2.3 se muestra un resumen detallada de características de los actuadores neumáticos, utilizados en la industria

Tabla 2. 3 Características de los Actuadores Neumáticos

Nombre del Cilindro	Características
<p><b>Cilindro con vástago</b></p> 	<p>Cilindros con vástago: como cilindros compactos, cilindros de carrera corta, cilindros planos, cilindros redondos, cilindros micro, cilindros roscados o cilindros de acero inoxidable</p> <p>Tipos seleccionados según la directiva ATEX para atmósferas potencialmente explosivas o de acero inoxidable resistente a la corrosión y, por tanto, muy fáciles de limpiar</p>
<p><b>Actuadores sin vástago</b></p> 	<p>Actuadores lineales compactos con o sin guía: cilindros con acoplamiento mecánico con métodos optimizados de fijación para el montaje sencillo, y cilindros con acoplamiento magnético para utilizar como sistema hermético y estanco</p>
<p><b>Actuadores Giratorios</b></p> 	<p>Actuadores giratorios compactos con reducido espacio de montaje y ángulos de giro ajustables, también en forma modular como actuador giratorio de doble émbolo</p> <p>Tipos seleccionados conforme a la directiva ATEX para atmósferas con peligro de explosión.</p>

<p><b>Cilindros tándem, de gran fuerza y multiposición</b></p> 	<p>Más fuerza de empuje que los cilindros normales debido a la yuxtaposición de 2, 3 ó 4 cilindros con émbolos del mismo diámetro y de la misma carrera</p> <p>La yuxtaposición de 2 a 5 cilindros con émbolos del mismo diámetro, pero de carreras diferentes permite avanzar hasta 6 posiciones.</p>
<p><b>Cilindros de Tope</b></p> 	<p>Para detener o separar portaobjetos o paletas durante el transporte: detención suave, silenciosa y segura</p> <p>Equipamiento rápido y sencillo de sistemas de transferencias sin aire comprimido.</p>
<p><b>Cilindros de sujeción</b></p> 	<p>Cilindros cortos sin vástago, con membrana y una carrera mucho más corta que los cilindros de fuelle</p> <p>Sistema de tensión con accionamiento neumático</p>
<p><b>Actuadores de fuelle y de diafragma</b></p> 	<p>Accionamiento de membrana sin vástago; su estructura consta de dos placas de metal y un fuelle de goma.</p>
<p><b>Platos divisores</b></p> 	<p>Componentes para trabajos rotativos de montaje, con autómatas empaquetadores, estaciones de perforación y otros casos donde se utilizan herramientas o piezas rotativas.</p>

<p><b>Accionamientos reguladores para la tecnología de procesos</b></p> 	<p>Actuadores giratorios</p> <p>Actuadores lineales con y sin sistema de medición de recorrido</p> <p>Unidades de medición para los actuadores lineales</p>
---	---

Fuente. (Festo, 2013)

## 2.5 Redes de Distribución

Las redes de distribución de aire comprimido son necesarias para el abastecimiento de aire en todas las máquinas y equipos que lo necesiten, por tal motivo se utiliza una red de conductos desde el compresor, pasa por el acondicionamiento de aire y llega a un depósito acumulador en el cual se almacenará el aire de acuerdo a unos valores mínimos y máximos, para garantizar el suministro en todo momento incluyendo los que tengan mayor demanda. (Arce, 2012).

El diámetro de las tuberías va de acuerdo al consumo, es decir si aumenta el consumo la pérdida de presión entre el depósito y el punto de consumo no debe exceder de 0,1 bar. Por otro lado, cuando se está diseñando una red de distribución se debe considerar las futuras ampliaciones con un incremento en la demanda del suministro de aire, es decir las tuberías deben dimensionarse holgadamente. (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006).

En la figura 2.18 se observa el diseño de una red de distribución.

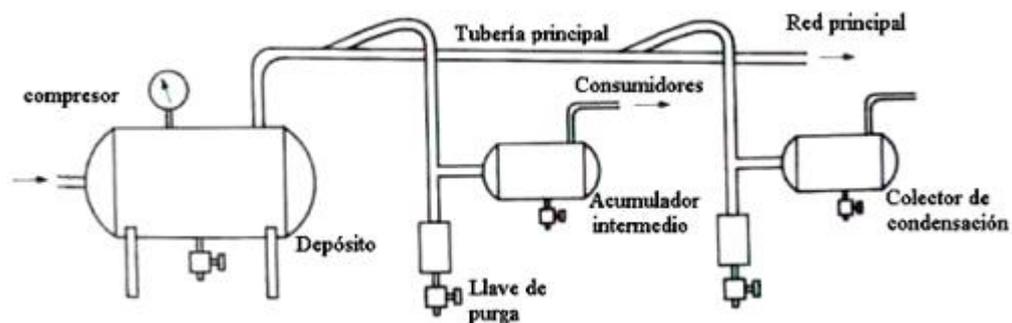


Figura 2. 18 Diseño de una red de distribución

Fuente: (Arce, 2012)

Es recomendable que las tuberías no sean instaladas empotradas, ya que requieren un mantenimiento periódico; por cuestión de la condensación deben tener una

pendiente entre el 1% y el 2% en el sentido que circula el aire. (Arce, 2012). Los materiales que se necesitan para construir una red de distribución deben cumplir unas ciertas condiciones como:

- Deben asegurar bajas pérdidas de presión
- Limitación de fugas
- Deben ser resistentes a la corrosión
- Deben permitir posibles ampliaciones
- Bajo Costo

Los tipos de tuberías que se necesitan para la instalación son:

- Cobre
- Latón
- Acero
- Polietileno

## **CAPÍTULO 3**

### **CRITERIOS PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO**

#### **3.1 Sistemas de aire comprimido**

Los elementos básicos del sistema de aire comprimido se relacionan con el compresor, el cual actúa como elemento receptor – transformador, permitiendo las condiciones necesarias al aire comprimido (presión y caudal) mediante la transformación en energía potencial de la energía cinética de que es suministrado; con el sistema de distribución (tuberías, líneas o conductos de distribución), que están a cargo del transporte del aire comprimido al tanque de almacenamiento y a los puntos de aplicación; y con los actuadores y herramientas neumáticas, que determinan el consumo del sistema. (Velazco & Averza, 2017)

#### **3.2 Fuente y distribución del aire comprimido**

La fuente principal de sistemas de aire comprimido es el aire, el cual se obtiene de la presión atmosférica y después de pasar por la unidad de compresión, alcanza la presión de trabajo requerida, para posteriormente ser distribuido por los diferentes puntos de trabajo que componen al sistema de aire comprimido. (Velazco & Averza, 2017)

Sin embargo, las redes de distribución de aire comprimido surgen para poder abastecer de aire a todas las máquinas y equipos que lo precisen, por lo que se debe tender una red de conductos desde el compresor y luego de haber pasado por el acondicionamiento de aire, es necesario un depósito acumulador, donde se almacene aire comprimido entre unos valores mínimos y máximos de presión, para garantizar el suministro uniforme, incluso en los momentos de mayor demanda.

El diámetro de las tuberías se debe elegir para que, si aumenta el consumo, la pérdida de presión entre el depósito y el punto de consumo no exceda de 0,1 bares. Cuando se planifica una red de distribución de aire comprimido hay que pensar en posibles ampliaciones de las instalaciones con un incremento en la demanda de aire, por lo que las tuberías deben dimensionarse holgadamente.

Las conducciones requieren un mantenimiento periódico, por lo que no deben instalarse empotradas; para favorecer la condensación deben tenderse con una pendiente de entre el 1 y el 2% en el sentido de circulación del aire, y estar dotadas a intervalos regulares de tomas por su parte inferior, con las purgas correspondientes para facilitar la evacuación del condensado. (Bonilla, 2014).

El sistema de aire comprimido aprovecha la capacidad de aire de compresión que posee el aire atmosférico; para utilizar como energía o para acumularlo en un recipiente para usar cuando sea necesario. El aire comprimido se obtiene utilizando unos equipos denominados compresores, que aspiran aire atmosférico, el cual se comprimen hasta llegar un valor de presión atmosférica a la que se encontraba. (Velazco & Averza, 2017)

El aire comprimido sin tratar proveniente del compresor entra en el post-enfriador (Refrigerador de aire), después entra al depósito o tanque húmedo para separar más condensado el aire comprimido, y de esa forma facilitar un flujo estable de aire, como así también, ayudando a evitar ciclos de carga-descarga excesivos del compresor.

El aire húmedo proveniente del tanque de almacenamiento pasa al secador, el cual lleva el aire al nivel óptimo, requerido para la aplicación del mismo. Posterior a este proceso este aire pasa los filtros (eliminadores de vapor de agua, aceite, partículas), a la salida de este son direccionado al almacén seco, el cual sirve para el almacenamiento principal de aire comprimido del sistema y debe seleccionarse apropiadamente.

A continuación se puede ver en la figura 3.1 ejemplos de instalaciones del aire comprimido de tipo industrial.



Figura 3. 1 Instalaciones del aire comprimido

Fuente: (Velazco & Averza, 2017)

El tamaño de la instalación debe calcularse correctamente para proporcionar el máximo caudal de aire requerido con la menor presión operativa. Esto quiere decir que se necesitan datos detallados de cada elemento del equipo en relación al consumo del aire comprimido. Esto se expresa normalmente como litros normales por minuto (l/min) y también se necesita conocer el óptimo o mínimo valor para la correcta operación de tales elementos.

### 3.3 Dimensionado de las tuberías

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

- El caudal
- La longitud de la tubería
- La pérdida de presión (admisibles)
- La presión de servicio
- La cantidad de estrangulamiento en la red

Por lo tanto, en la práctica se utilizan los valores reunidos con la experiencia. Un nomograma ayuda a encontrar el diámetro de la tubería de una forma rápida y sencilla. En la figura 3.2 se puede ver un nomograma de diámetro de tubería.

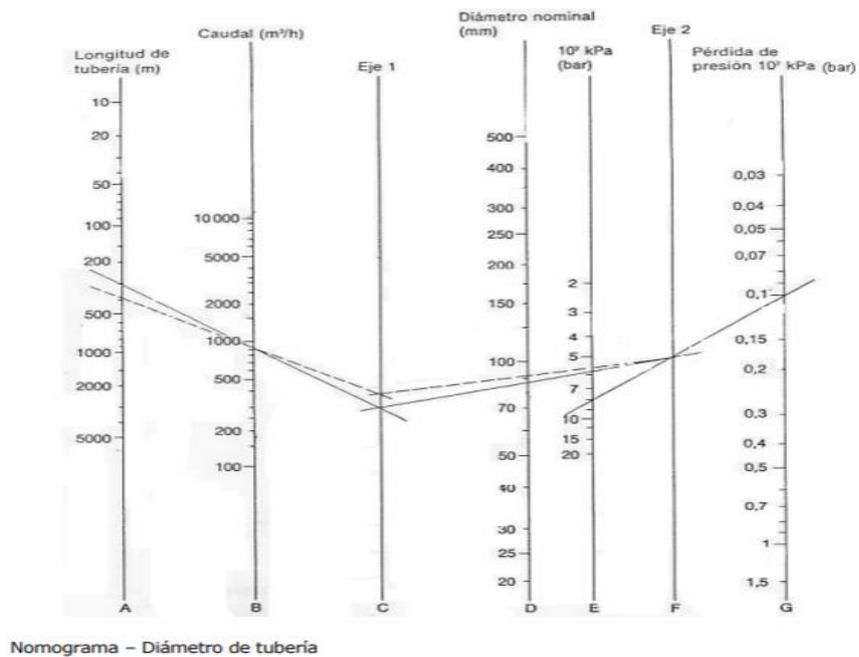


Figura 3. 2 Nomograma de diámetro de tubería

Fuente: (Neumática Básica, 2017)

### 3.4 Tipos de red para instalaciones de aire comprimido

Pueden ser de dos tipos los diseños de red, para instalaciones de aire comprimido.

#### Red abierta

Formada por tuberías que parten de la central compresora y se ramifican hasta llegar a los puntos de consumo final. Es la red más económica, puesto que supone menor longitud de tuberías. (Automatización Industrial, 2011)

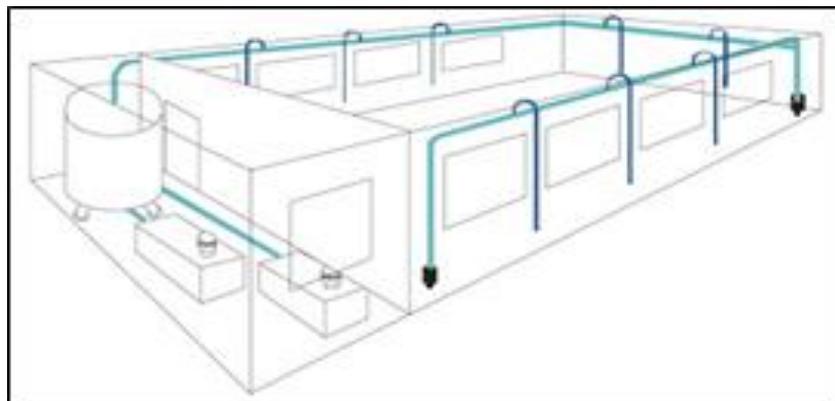


Figura 3. 3 Red de distribución abierta

Fuente: (Automatización Industrial, 2011)

## Red cerrada

La tubería parte de la central compresora y tras pasar por la instalación se cierra en su extremo, formando un anillo. En esta distribución se consigue un reparto de caudales óptimo y continuidad de servicio ante averías, gracias a las válvulas de sector. Además, minimizan las pérdidas de carga en la instalación.

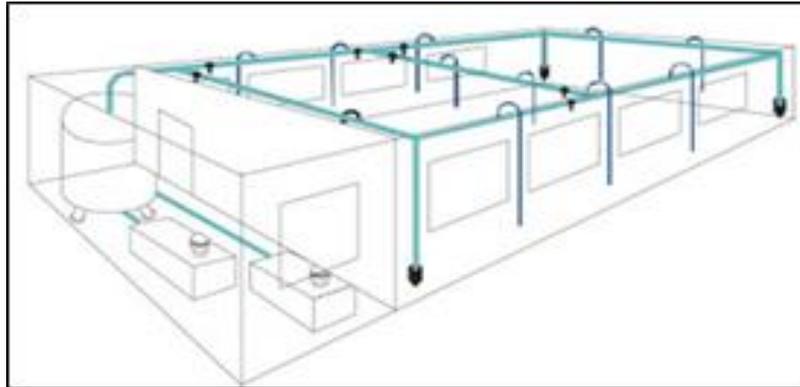


Figura 3. 4 Red de distribución cerrada

Fuente: (Automatización Industrial, 2011)

La configuración de las redes principales de alimentación en una planta de aire comprimido puede realizarse de dos maneras: utilizando una línea sin retorno (desde el compresor hasta el punto de utilización más lejano) o utilizando un sistema de anillo o cerrado. El sistema de distribución cerrado es, sin lugar a dudas, el más recomendable y tiene como ventaja que, al tratarse de un circuito sellado, proporciona un caudal más balanceado hasta los puntos de utilización y también permite aislar partes de la instalación para realizar mantenimientos sin tener que cortar la totalidad del sistema de suministro de aire.

Por ejemplo de cálculo de dimensiones de un sistema cerrado básico y el caudal relacionado, véase en la figura 3.5

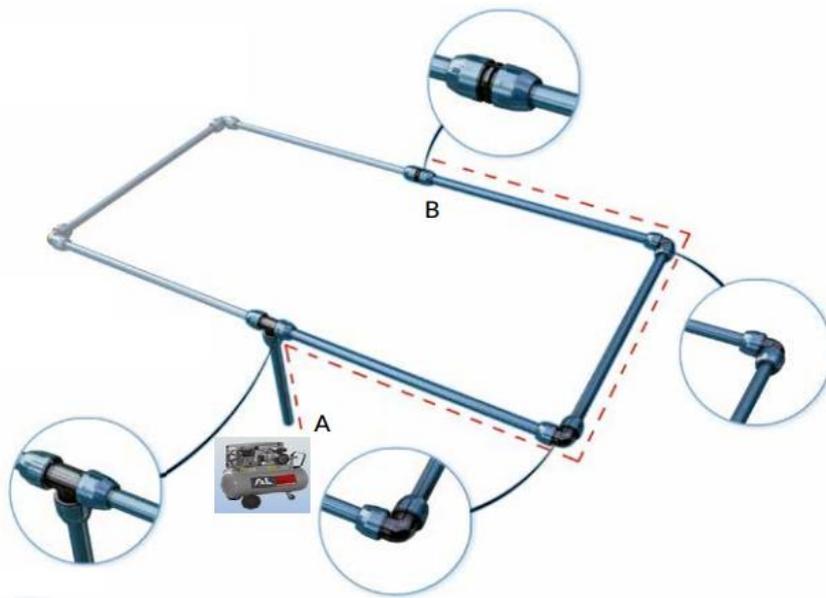


Figura 3. 5 Esquema de conexión red de aire comprimido cerrada básica

Fuente: (Ingemecánica, 2012)

El punto más alejado del compresor (A) es el punto B. Si se toma como longitud 90 metros, el punto más alejado. La línea discontinua muestra el caudal del aire desde el compresor (A) al punto más lejano (B).

Es vital conocer la cantidad de aire comprimido requerida por todas las otras herramientas (pistolas de aire, máquinas, accesorios. Para calcular correctamente el tamaño de una planta se necesita por tanto conocer cuáles son los valores de consumo, al objeto de calcular el máximo consumo para compararlo posteriormente con otros factores (consumo medio), para así obtener las cifras reales que garantizarán un caudal constante de aire comprimido desde A hasta B que se encuentre dentro de los parámetros requeridos.

La configuración de las redes principales de alimentación en un sistema de aire comprimido se pueden realizar de dos maneras: utilizando una única línea (desde el compresor hasta el punto más alejado de utilización) o utilizando un sistema de anillo. Cuando se calcula el tamaño de una nueva red de distribución, deben tenerse en cuenta los siguientes factores:

1. Caudal: Este valor se estima a partir de cifras de consumo generadas para diferentes aplicaciones y debe tener en cuenta además la frecuencia con las que estas ocurren. El total de las cifras de consumo medio de todas las aplicaciones

nos dará la cantidad máxima exigida para las tuberías principales. Es necesario añadir un porcentaje adicional por seguridad y para cubrir posibles ampliaciones futuras. Estos cálculos indicarán el tipo de compresor a instalar, así como otro tipo de componentes necesarios (calderin, filtro principal, secador, etc.)

2. Índices aproximados de caudal del compresor: Los índices aproximados de caudal que se pueden obtener de compresores de diferentes potencias de salida, estas equivalencias son un manera pragmática para encontrar el caudal del compresor.

Tabla 3. 1 Caudal aproximado del compresor

KW	CV	NI/min
1,5	2	230
3	4	400
4	6	600
5,5	7,5	900
7,5	10	1200
11	15	1750
12,5	17	2000
15	20	2500
18	25	3000
22	30	3500
29	40	4500
37	50	4500
45	60	7000
55	75	8500
74	100	12000
92	125	15000
110	150	18000
132	180	21000
170	230	26000
200	270	31000

Nota: (Mundo Compresor, 2018)

3. Caudal y Caidas de Presión: Los diseñadores de la instalación deben establecer la presión mínima requerida para cada uso y su posición, puesto que la presión cae proporcionalmente a la distancia del compresor debido a numerosos factores:

- Secadores, unidades de tratamiento del aire y filtros
- Salidas de aire comprimido - Estrechamiento de tuberías (válvulas, etc.)
- Fricción en las tuberías generadas por la velocidad del caudal
- Variaciones en las secciones de cruce, cambios de dirección, ángulos y conexiones/racores.

En todo diseño de res, se tomará en cuenta los aspectos básicos en la elección del compresor. Se detallan cuáles son:

- Presión (se mide en PSI, Bar, etc.)
- Cantidad de aire que puede comprimir o Caudal (Se mide en CFM o  $m^3/min$ )
- Potencia (HP o kW)

**1.- Presión de aire.-** Es la presión a la que puede trabajar el compresor y se mide en libras por pulgadas cuadradas o PSI, donde también se utiliza la medida en Bares (BAR).

$$1 \text{ BAR} = 14.5 \text{ PSI}$$

**2.- Caudal.-** Esta es la capacidad que tiene el compresor de oprimir el aire sobre una unidad de tiempo y se mide generalmente en CFM o PCM (Pies cúbicos por minuto).

**3.- Potencia.-** Es la capacidad de trabajo que tiene el compresor y se mide en HP (Caballos de fuerza). También se utiliza CV (caballos de vapor) y KW (Kilovatios).

$$1 \text{ HP} = 0.74 \text{ KW}$$

$$1 \text{HP} = 1.0138 \text{ CV}$$

$$1 \text{CV} = 0.73 \text{ KW}$$

Al final, todo esto nos sirve para entender que al elegir un compresor de aire se debe tener en cuenta que los CFM dependen de los PSI del compresor. Por otro lado, entre mayor es la potencia o el caballaje del compresor, más aire puede suministrar el equipo (CFM). Generalmente hay un estándar, es decir, la mayoría de las herramientas trabajan a 90 PSI, algunas a 100 PSI y otras a 120 PSI.

Para elegir un compresor de aire y saber qué compresor de aire es mejor hay que leer o tener unos datos muy simples, sumarlos y listo, comparar con una tabla para saber qué tipo de equipo se necesita.

En cuanto a las leyes sobre aire comprimido, existen algunos Coeficientes de Corrección de Consumo. Estos pueden ser el:

- Coeficiente de Uso
- Coeficiente de Simultaneidad
- Coeficiente de Mayoración
- Coeficiente de Ciclo de Funcionamiento.

Esto se utiliza para cuando el compresor tiene un uso industrial y son muchas herramientas de diferentes potencias conectadas, además que no todas estarán conectadas al tiempo. Para evitar esto y hacerlo simple, al escoger un compresor simplemente se aumenta un consumo del 30% más, al cálculo general que se haga.

### **3.5 Demanda de aire comprimido (Caudal requerido)**

Para determinar la demanda requerida de aire comprimido de cada equipo se revisan los catálogos y/o manuales de cada uno de ellos, además se considera un margen de seguridad para fugas y para las instalaciones de incremento de nuevos equipos a futuro, por lo que la sumatoria total se considera como la demanda pico y sus unidades son en  $\text{pie}^3/\text{min}$  (CFM).

El consumo total de aire comprimido es aquel que resulta de sumar el consumo de todos los equipos neumáticos conectados en la planta, trabajando a pleno rendimiento. Este es un dato básico que permitirá la elección del tipo y dimensión del compresor.

A este valor hay que sumarle el obtenido por la estimación de las posibles fugas que en un futuro se originen en la instalación. Como nota extraída de la experiencia, decir que instalaciones bien conservadas presentan normalmente fugas que rondan entre el 2 y el 5%. Instalaciones con varios años de servicio pueden llegar a tener fugas del orden del 10%. Si además, las condiciones de mantenimiento no son del todo correctas, éstas pueden llegar a alcanzar valores del 25%.

En la tabla 3.2 se expone un extracto que incluye los consumos típicos de herramientas y equipos neumáticos.

Tabla 3. 2 Valores de consumo de herramientas neumáticas

		Ndm <sup>3</sup> /s a 5,5 bar	
Taladros	7 mm	4.7	7.5
	10 mm	7.1	9.4
	13 mm	11.8	14.1
	25 mm	28.3	37.7
	50 mm	37.7	56.6
	75 mm	47.2	51.4
Muelas fijas		4.7	11.8
Muelas hasta $\phi$ 50 mm		9.4	11.8
Muelas hasta $\phi$ 150 mm		23.6	28.3
Pulidoras y lijadoras		4.7	21.1
Llaves dinamométricas	tuercas hasta 7 mm	4.7	7.1
	tuercas hasta 13 mm	11.8	16.5

		Ndm <sup>3</sup> /s a 5,5 bar	
	tuercas hasta 25 mm	18.9	26.0
	tuercas hasta 38 mm	23.6	33.0
Destornilladores		3.3	11.8
		4.7	14.1
Pistolas de pintar	pequeñas	0.17	2.4
	medianas	2.4	5.7
	grandes	5.7	11.8
Pistolas de aire		2.4	
Motores neumáticos			
1 BHP (746 W)		14.1	16.5 por BHP (746 W)
1 a 5 BHP (746-3730 W)		14.1	por BHP (746 W)
+de 5 BHP (3730 W)		11.8	por BHP (746 W)

Nota: (Ingemecánica, 2012)

La demanda de aire comprimido depende del requerimiento de caudal de los equipos, puntos de servicios y de su período de aplicación, lo cual se representa por el factor de simultaneidad (fs) y el factor de uso (fu).

El factor de simultaneidad se lo define como el porcentaje del tiempo de operación de las máquinas del mismo tipo, este factor es un valor empírico como se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 3. 3. Tabla de factor de simultaneidad.

Nº de herramientas	Factor de simultaneidad
0	1
10	0,7
20	0,6
30	0,55
40	0,5
50	0,475
60	0,45
70	0,425

El factor de uso (fu) se lo define como el porcentaje de tiempo que corresponde a cada máquina o punto de servicio en un periodo de tiempo de 24 horas. Por lo tanto, el caudal o demanda de trabajo es la suma de todos los caudales multiplicados por el factor de uso y el factor de simultaneidad, presentados en la siguiente ecuación:

$$Q_t = \sum (Q * fs * fu) \quad (Ec. 1)$$

Donde:

$Q_t$ : Caudal de trabajo.

Q: Caudal total.

fs: Factor de simultaneidad.

fu: Factor de uso.

Por lo que se establece el valor de cada uno de los factores mencionados donde:

El caudal máximo a una presión de 125 PSI es de 18 CFM o lo que es equivalente a 510 Litros/min según la ficha técnica del compresor evaluado.

Para la aplicación para la que se destina el compresor se puede aseverar que el factor de simultaneidad según la tabla 1, se puede asociar con un la cantidad de herramientas con las que trabaja el compresor la cual es menor a 10, por lo que el factor de simultaneidad equivale a 0.7.

De acuerdo a la ficha técnica y el uso para el que va destinado el equipo, el factor de uso se puede aproximar al 60%, es decir, el factor de uso será de 0.6.

Entonces según la ecuación 1:

$$Q_t = \sum (Q * fs * fu)$$

$$Q_t = (510 * 0.7 * 0.6)$$

$$Q_t = 214.2 \text{ Litros/min}$$

Donde se puede constatar en la siguiente tabla con el valor marcado, que la potencia requerida para ese caudal es de 3 CV, lo que demuestra que es un caudal de trabajo con el que el compresor puede trabajar con una eficiencia óptima.

Tabla 3. 4 Características de compresores

<b>POTENCIA (CV)</b>	1,5	3	5,5	10	15	25
<b>CAUDAL (l/min)</b>	150	275	625	1.150	1.750	3.000
<b>PRESION (BAR)</b>	7	7	7	7	8	8

Nota: (Automatización Industrial, 2011)

Una vez calculado la demanda del caudal de trabajo, se procede a calcular la demanda del caudal total de operación ( $Q_t op.$ ) en una red de aire comprimido, la

cual se lo determina adicionando al caudal total de trabajo los siguientes porcentajes:

- 5% de volumen por desgaste de máquinas.
- 5% de volumen por fugas.
- 10% de volumen por expansión del sistema.

Lo que resulta un caudal total de 257.04 Litros/min, el mismo que se encuentra dentro del rango de trabajo para un compresor de 3 HP ( $257.04 < 275$ ).

### **3.6 Diseño de trayectoria de la tubería del sistema**

El primer paso para poder realizar el diseño del sistema de aire comprimido es determinar la ubicación del compresor, equipos y accesorios de todo el sistema, por la importancia de trazar la ruta de la tubería principal y de sus ramificaciones secundarias, tomando en cuenta la ubicación del equipo.

Un mal diseño en la trayectoria de la distribución del sistema de aire comprimido ocasionará un mal funcionamiento de las maquinarias que se van a suministrar, y de no disponer de puntos de servicios necesarios para el mantenimiento del proceso, constituye un riesgo para el personal y el equipo que se encuentre a su alrededor.

Se recomienda que las conexiones de la tubería hacia las máquinas sean desmontables para facilitar su mantenimiento, el cual deben disponer de unidades de mantenimiento para obtener un aire limpio empleando filtros y trampas de condensado, así como lubricadores para las máquinas del proceso, todos estos elementos serán instalados detrás de las correspondientes válvulas de cierre en dirección del flujo.

Es recomendable que la tubería principal tenga una inclinación del 1 al 2 % de la longitud total en dirección del caudal del aire, para la evacuación de condensado, para lo cual se debe instalar al final de la tubería una válvula de purga.

### 3.6.1 Material de tuberías

El material utilizado para la tubería del sistema de aire comprimido será de aluminio debido a que resulta más económico que el acero, el cual es otro de los materiales tentativos de las tuberías para ciertas aplicaciones del aire comprimido. Se puede realizar una comparación de las propiedades mecánicas y algunas características del material tanto para el acero como para el aluminio, como se muestra continuación.

Tabla 3. 5 Propiedades del aluminio y de una aleación de acero

Propiedad		Aluminio	Acero 371
1	Esfuerzo (N/mm <sup>2</sup> )	250	400
2	Elasticidad E, Módulo de Young (MPa)	70.000	210.000
3	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	2,7	7,8
4	Punto de fusión (°C)	660	1500
5	Rango de temperatura de trabajo (°C)	-250 a 150	-50 a 500
6	Conductibilidad eléctrica (m/Ohm mm) <sup>2</sup>	29	7
7	Conductividad térmica (W/m °C)	200	76
8	Coefficiente de expansión lineal x 10 <sup>-6</sup> /°C	24	12
9	No-magnético	Sí	No
10	Tóxico	No	No
11	Resistente a la corrosión	Sí	Sí
12	Mecanizado	Fácil	Fácil
13	Maleable	Sí	Sí
14	Costo	Barato	Caro

Por lo que se obtuvo las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio, que solo son válidas para espesores que se encuentre entre el rango de 1.60 y 38.1 milímetros. Las propiedades se detallan en la tabla 3.4

Tabla 3. 6 Propiedades mecánicas de la aleación de aluminio (AA55083) para espesores entre 1.60 y 38.1 mm

Aleado y tratado	Tensión (MPa)		Elongación (%) en 50 mm	Dureza Brinnell	Tensión de cortante (MPa)	Límite de fatiga (MPa)	Módulo de elasticidad (MPa) × 10 <sup>3</sup>
	Última	Fluencia	Espesor de la muestra 1,60 mm	Carga: 500 kgf Bola: 10 mm			
AA5083-H321	305	215	12	85	190	159	70,3

La propiedad que será utilizada en este informe, será el límite a la fluencia del material por lo que se sabe que:

$$\sigma = 215 \text{ MPa}$$

### 3.6.2 Dimensionamiento de tuberías y ramificaciones

El diámetro indicado para las tuberías será aquel que posibilite las condiciones más aceptables de trabajo en el sistema de aire comprimido la cual deberá estar dentro de los parámetros de funcionamiento normal como son:

- Flujo subsónico.
- Niveles correctos de velocidades de los flujos.
- Niveles permisibles de pérdidas de presión.

Si la tubería que se va a utilizar en una red de aire comprimido fuese de mayor diámetro, esta mejorará las condiciones de trabajo en la red, pero como consecuencia de esto, directamente el costo y el peso de la tubería también se incrementarán, es por esto que el dimensionamiento de la tubería requiere de un análisis tanto técnico como de factibilidad económica por parte del diseñador.

Para realizar el cálculo del diámetro de la tubería (D), se determina primero la longitud definitiva ( $L_{total}$ ), la cual se la evalúa con la siguiente:

$$L_{total} = 1.6L \text{ (Ec. 2)}$$

Donde:

L: Longitud equivalente de la tubería en metros.

Una vez calculada la longitud total de la tubería, se procede a calcular el diámetro interno de la misma por medio de la siguiente ecuación:

$$A = \frac{Q}{v} \text{ (Ec. 3)}$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}} \text{ (Ec. 4)}$$

Donde:

D: Diámetro interno en metros

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s

V: Velocidad en m/s

Donde se sabe que la velocidad es de 3500 RPM que equivale a 366.5 rad/seg de donde se puede obtener el diámetro de las tuberías de acuerdo a los parámetros según la siguiente ecuación:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{v\pi}}$$

Y

$$v = w * \frac{D}{2}$$

Por lo que:

$$D = \sqrt{\frac{8Q}{wD\pi}}$$

Y de aquí se puede obtener el diámetro con los datos presentados, donde el caudal en metros cúbicos por segundo es de 0.004284:

$$D = \sqrt{\frac{8(0.004284)}{366.5 * D * \pi}}$$

$$D = \frac{5.456x10^{-3}}{\sqrt{D}}$$

$$D * \sqrt{D} = 5.456x10^{-3}$$

$$\sqrt{D^3} = 5.456x10^{-3}$$

$$D = 0.025 \text{ metros} = 2.5 \text{ cm} = 25 \text{ mm}$$

9. Redes de Aire comprimido

**KAESER**  
COMPRESORES

Comparación del diámetro nominal de la tubería.

mm (DN = Diám. Nominal )	Pulg.
DN 6	1/8
DN 8	1/4
DN 10	3/8
DN 15	1/2
DN 20	3/4
DN 25	1
DN 32	1 1/4
DN 40	1 1/2
DN 50	2
DN 65	2 1/2
DN 80	3
DN 100	4
DN 125	5
DN 150	6

9/15

Figura 3. 6 Calculador de diámetros nominales para tuberías de compresores

Fuente: (Mundo Compresor, 2018)

Por lo que se puede escoger uno de los diámetros disponibles en el mercado, donde el que se aproxima con exactitud es el DN 32 o diámetro nominal de 32 mm o  $1\frac{1}{4}$  pulgadas.

Cuando se diseña la red a aire comprimido, se considera muchos factores y parámetros involucrados como los que se describe a continuación:

- **Caída de presión.** Debido a que las pérdidas por fricción son proporcionales al cuadrado de la velocidad del flujo, es conveniente utilizar tamaños de tubería tan grandes como sea factible, para asegurar una presión adecuada en todos los puntos de uso de un sistema.

- **Requerimiento de potencia en el compresor.** La potencia requerida para alimentar el compresor se incrementa a medida que la caída de presión aumenta. Por lo tanto, es adecuado utilizar tuberías cortas o de diámetro mayor para minimizar la caída de presión.

- **Costo de la tubería.** Los costos de las tuberías son elevadas dependiendo de las longitudes y diámetros, es por eso que resulta más económico trabajar con tuberías de menor longitudes.

- **Costo de un compresor.** En general, un compresor diseñado para operar a una presión mayor costará más, lo que hace más adecuado el uso de tuberías de mayor diámetro que minimizan la caída de presión.

- **Costos de instalación.** Las tuberías pequeñas son más fáciles de manejar, aunque este no es en general un factor importante.

- **Espacio requerido.** Las tuberías pequeñas requieren de un menor espacio y proporcionan menor interferencia con otro equipo u operaciones.

- **Expansión futura.** Para permitir la adición de más equipos que requieran aire comprimido en el futuro, son recomendables instalar tuberías de mayores diámetros.

El espesor de la tubería para aplicaciones de aire comprimido está en función de la presión generada por el compresor, del diámetro de la tubería y del material de la misma, el cual se lo determina utilizando la ecuación:

$$e = \left( \frac{P_{sal} * D}{2\sigma} + C \right) \text{ (Ec. 5)}$$

Dónde:

D: Diámetro mínimo de la tubería.

e: Espesor de la tubería.

Psal: Presión de salida del compresor.

$\sigma$ : Límite de fluencia del material de la tubería.

C: Constante aplicada por corrosión cuyo valor es 1,7

Para la presión de salida se considerará la presión máxima del compresor la cual será de 125 Psi lo que equivale a 1.48 MPa. En cuanto al diámetro mínimo de la tubería será considerado como el diámetro nominal de la tubería en milímetros, es decir, 27 milímetros.

## CAPÍTULO 4

### DISEÑO DE INSTALACIÓN DE AIRE COMPRIMIDO PARA LABORATORIO DE NEUMÁTICA

#### 4.1 Localización

El diseño de la instalación de aire comprimido se deberá realizar en el laboratorio de Neumática de la FETD. En la figura 4.1 se puede apreciar dicho laboratorio y los dos compresores de aire comprimido habilitados.



Figura 4. 1 Laboratorio de Neumática y compresores de aire comprimido

Fuente. El autor

El laboratorio cuenta con equipamiento FESTO y la generación de aire comprimido lo realizaban 3 compresores de 0.75 HP. Actualmente un compresor esta fuera de servicio y otro fue reparado. Por tal motivo es necesario que se cuente con una instalación de aire comprimido adecuado.

#### 4.2. Red de distribución

En todo diseño de un sistema de aire comprimido se recomienda seguir la siguiente secuencia lógica de etapas:

- 1.- Identificar los accesorios, herramientas y equipos consumidores de aire comprimido, señalando su localización en planta y determinando las condiciones de su consumo, tales como: caudal de aire y presión de suministro o de trabajo del equipo, máximo nivel de humedad admitido en el aire, de partículas y de contenido de aceite;

- 2.- Establecer el porcentaje de tiempo de funcionamiento de cada consumidor y el número de consumidores que pueden trabajar de forma simultánea en cada línea de distribución y en la línea principal;
- 3.- Estimar las posibles pérdidas por fugas, incorporándolo en el cálculo;
- 4.- Realizar el cálculo de la caída de presión máxima para cada punto final de consumo. El mayor valor obtenido será el que condicionará las prestaciones del compresor;
- 5.- Selección de los restantes elementos del sistema (compresor, depósito, equipos de tratamiento, etc.) y diseño final de tubería de la red.

El laboratorio constará con una red de distribución en el lado derecho del aula, tomando como referencia la entrada. Asimismo, tendrá un diseño en lazo abierto o red abierta y estará ubicada a una altura determinada con extensiones que bajarán por las paredes laterales hacia los puestos de prácticas.

En la figura 4.2 se muestra un modelo de red de aire comprimido.

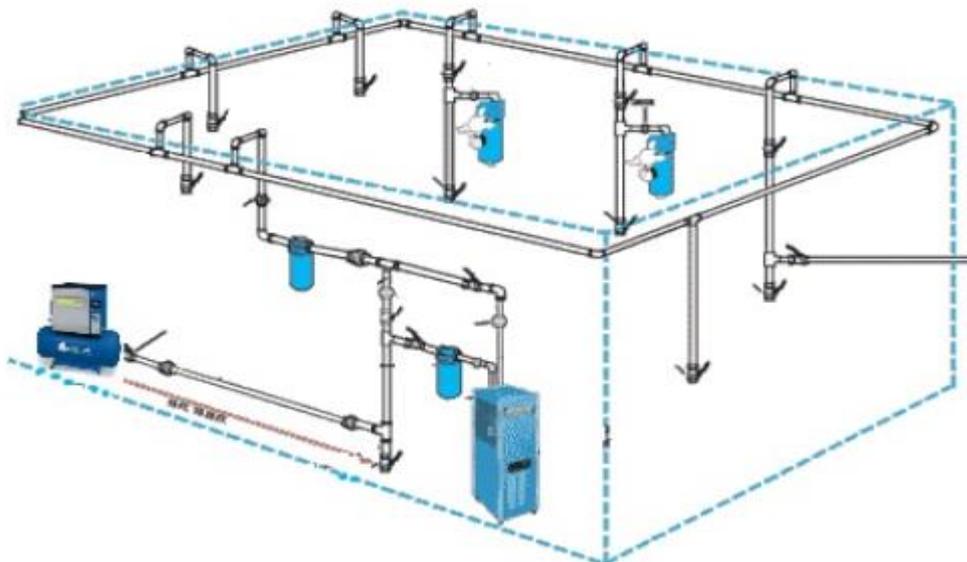


Figura 4. 2 Red de distribución de aire comprimido

Fuente: El autor

Se indica que los tubos de la red deben ser de aluminio pues este material limita los fenómenos de dilatación/contracción debidos a variaciones de temperatura. La

red conserva su rectitud y, por tanto, sus prestaciones con el paso del tiempo. Los fabricantes de tubos de aluminio los comercializan calibrados para la adaptación perfecta a los distintos acoples.

El empleo del tubo de aluminio permite limitar los deterioros internos debidos a la corrosión (autoprotección del tubo con la formación de óxido de alúmina). De esta forma está protegido de las agresiones externas.



Figura 4. 3 Tubo de aluminio

Fuente: (Legris Transair, 2015)

Su color (preferible azul) permite identificar la red inmediatamente y confiere un aspecto limpio y estético al entorno. En la figura 4.4 se muestra características del tubo o el marcado del tubo según el fabricante Transair.

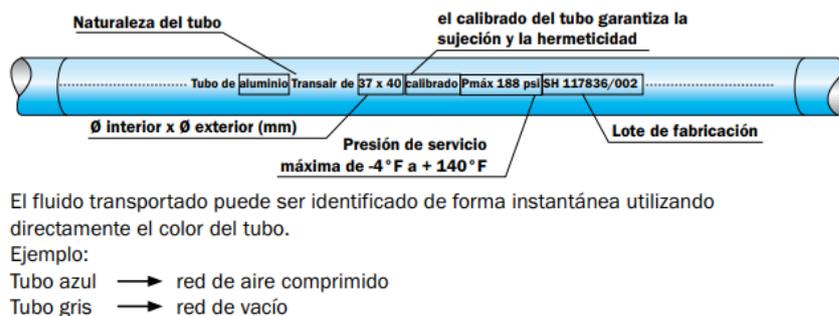


Figura 4. 4 Características del tubo de aluminio

Fuente: (Legris Transair, 2015)

En el anexo 2 se muestra detalles de herramientas para implementar una instalación con tubos de aluminio para distribución de aire comprimido.

### **4. 3 Sala o cuarto del compresor**

La mayor parte del sistema de aire comprimido se ubica en una sala o cuarto de compresores. Podría ser una sala diseñada y utilizada para otros fines, o bien haberse creado específicamente para el propio compresor. En ambos casos, una sala debe proveer facilidad de uso y servicio, protección contra el acceso no autorizado, control de ruido adecuado y posibilidades más sencillas de ventilación controlada. Es decir, cumplir ciertos requisitos para sacar el máximo partido de la instalación de compresores.

La ubicación del compresor debe tomar en cuenta ciertos riesgos e inconvenientes, como las perturbaciones por el ruido o los requisitos de ventilación del compresor, los riesgos físicos o de sobrecalentamiento, el drenaje de condensados, los entornos peligrosos debido al polvo o a sustancias inflamables, las sustancias agresivas en el aire, los requisitos de espacio para ampliaciones futuras y la accesibilidad para el mantenimiento.

Si no hay un cuarto o sala disponible para la instalación en interiores, el compresor también puede instalarse en el exterior bajo techo. En este caso, deben tenerse en cuenta algunas cuestiones: la protección contra lluvia y sol, la entrada de aspiración y ventilación, una base sólida y plana obligatoria (asfalto, losa de hormigón o base plana), el riesgo de polvo, las sustancias inflamables o agresivas y la protección contra el acceso de personas no autorizadas.

La entrada de aire del compresor debe evitar contaminación por gases procedentes de humos de escape de los vehículos. Se debe utilizar un prefiltro (filtro de banda rotativo, de panel o ciclónico) en instalaciones en las que el aire circundante tenga una alta concentración de polvo. En estos casos, durante el diseño se debe tener en cuenta la caída de presión causada por el prefiltro.

#### **4.3.1 Ubicación del compresor de aire para laboratorio de Neumática**

El cuarto del compresor estará ubicado en el exterior del laboratorio, donde se ha construido una loseta de dimensiones de 2m x 1m y diámetro de 10 cm. Esta loseta esta soportada por una columna de hormigón cuenta con la respectiva alimentación

eléctrica (220 VCA monofásico), puesta tierra y ventilación adecuada. La loseta cuenta con una canastilla y techo de zinc para protección del sol y lluvia.

En la figura 4.5 se muestra la representación del laboratorio con la instalación de aire comprimido.



Figura 4. 5 Cuarto de compresor en exteriores del laboratorio de Neumática

Fuente: El autor

### 4.3 Consumo de aire del laboratorio

Para disponer de aire y conocer su gasto de energía, es importante conocer el consumo de la instalación.

Para este cálculo se tiene la siguiente información técnica del laboratorio:

- Presión de trabajo: 600KPa (6 bares)
- Presión de servicio: 700KPa (7 bares)
- Diferencia de presión: 1 bar

Además, se calcula la relación de compresión:

$$= \frac{101.3 + \textit{Presión de trabajo}}{101.3}$$
$$\frac{101.3 + 600}{101.3} = \frac{701.3}{101.3} = 6.923$$

Para poder realizar el cálculo del consumo de aire, se reconoce las siguientes cargas:

- Cilindro de Simple Efecto
- Cilindro de Doble Efecto

Estas cargas estarán en cada tablero de prácticas que existirá en el laboratorio. De aquí se obtendrá datos como como el consumo de aire; además se calculará la longitud total del laboratorio, capacidad del acumulador, los elementos que estarán en la red y el tipo de compresor que se necesita.

### Cálculo Teórico

- Cilindro de Simple Efecto

Se tendrá en cuenta los datos técnicos revisados en la página oficial de FESTO.

⇒ Diámetro de embolo(d)= 25mm

⇒ Longitud de carrera(s)= 100mm

⇒ Ciclos por minutos(n)= 10min<sup>-1</sup>

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$V = s * n * \frac{d^2 * \pi}{4} * \text{relación de compresión}$$

Ecuación 1 Consumo del cilindro SE

Fuente: UPS-GT000117

$$V = 100 *$$

$$10 \frac{(0.025)^2 (3.1416)}{4} * 6.923$$

$$V = 3.398 \frac{l}{\text{min}}$$

- Cilindro de Doble Efecto

Se toma en cuenta los datos técnicos revisados en la página oficial de FESTO.

⇒ Diámetro de embolo(D)= 25mm

⇒ Diámetro del Vástago(d)=10mm

⇒ Longitud de carrera(s)= 100mm

$$\Rightarrow \text{Ciclos por minutos}(n)= 10\text{min}^{-1}$$

Se aplicará la siguiente fórmula:

$$= \left( 100 * \frac{(0.025)^2(3.1416)}{4} + 100 * \frac{(0.025)^2 - (0.010)^2(3.1416)}{4} \right) * 10 * 6.923$$

$$= 6.5529 \frac{l}{\text{min}}$$

### Consumo total

Para este valor se debe tener en cuenta, a parte del consumo de cada elemento, lo siguiente:

- Cantidad de elementos por cada tablero
- Cantidad de puestos de trabajo

Consumo total = Consumo por elemento\*Elemento por tablero\*Número de tablero

$$\text{Consumo total (SE)}= 3.398*4*1=13.592 \text{ l/min}$$

$$\text{Consumo total (DE)}= 6.5529*4*1= 26.2116 \text{ l/min}$$

$$\text{Consumo total por tablero}= 13.592 + 26.2116 = 39.8036 \text{ l/min} \rightarrow 2.388 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\text{Consumo total}=2.388\text{m}^3/\text{h} * 4= 9.552\text{m}^3/\text{h}$$

Conociendo el consumo de aire se obtiene los siguientes datos:

- $\Rightarrow$  Caudal (V)= 9.552 m<sup>3</sup>/h
- $\Rightarrow$  Frecuencia de conmutación/h (z)= 20
- $\Rightarrow$  Diferencia de presión (dP)= 1bar

Utilizando el diagrama del anexo 1, se precisa que el acumulador sea de aproximadamente de 0.7m<sup>3</sup>

### 4.4 Cálculo de tubería

El diseño de las tuberías de entrada en los compresores de pistón es particularmente crítico. La resonancia de las tuberías por las ondas estacionarias acústicas provocadas por la frecuencia pulsante cíclica del compresor puede dañar las tuberías y el compresor, así como causar vibraciones y afectar al entorno por el molesto ruido de baja frecuencia.

En la tabla 4.1 se muestra detalles para dimensionar los tubos de la instalación de aire comprimido.

Tabla 4. 1 Cálculo de tubería

Consumo de aire	9.552 m <sup>3</sup> /h
Longitud de tubería	21.5 m
Presión de servicio	700kPa–7 bares
Diferencia de presión	1 bar
Elementos de la red	
Acoples en T	4
Válvula cierre	4

Fuente. El autor

El diámetro de la tubería para la instalación de aire comprimido es de diámetro igual a 25mm. En el mercado se escoge una tubería de diámetro igual a 1" (1pulgada). Véase la tabla 4,2 las equivalencias de diámetros calculado en milímetros.

Tabla 4. 2 Equivalencias para tubos según mm

Equivalencia Nominal Pipe Size (NPS) vs Diámetro Nominal (DN)					
Pipe Size	Diametro	Pipe Size	Diametro	Pipe Size	Diametro
NPS	DN	NPS	DN	NPS	DN
[pulgadas]	[mm]	[pulgadas]	[mm]	[pulgadas]	[mm]
1/8	6	6	150	48	1200
1/4	8	8	200	52	1300
3/8	10	10	250	56	1400
1/2	15	12	300	60	1500
3/4	20	14	350	64	1600
1	25	16	400	68	1700
1 1/4	32	18	450	72	1800
1 1/2	40	20	500	76	1900
2	50	24	600	80	2000
2 1/2	65	28	700	88	2200
3	80	32	800	96	2400
3 1/2	90	36	900	104	2600
4	100	40	1000	112	2800
4 1/2	115	42	1050	120	3000
5	125	44	1100	128	3200

Nota: (PROVALTEC, 2017)

#### 4.5 Tendido de la red

El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido. Las curvas en el tendido de la red originan pérdidas de carga. Para evitarlos, se utiliza componentes modulares que permitan desviar la red y rodear los obstáculos. Limitar las reducciones bruscas de sección, que originan pérdidas de carga.

En el tendido debe considerarse una inclinación o que tenga descenso, en el sentido de la corriente del aire, se recomienda que sea del 1 al 2% con relación a la horizontal. En el interior del laboratorio se instala la tubería principal manteniendo un 5% de inclinación para que el condensado llegue por gravedad a ramales secundario donde 4 unidades de mantenimiento podrá purgar el condensado (líquido producido por compresión del aire). Entre el compresor y la primera bajada es importante que exista al menos 7 metros de distancia para que el aire se enfríe.

En la figura 4.6 se muestra imagen de la instalación del laboratorio de Neumática de la FETD.

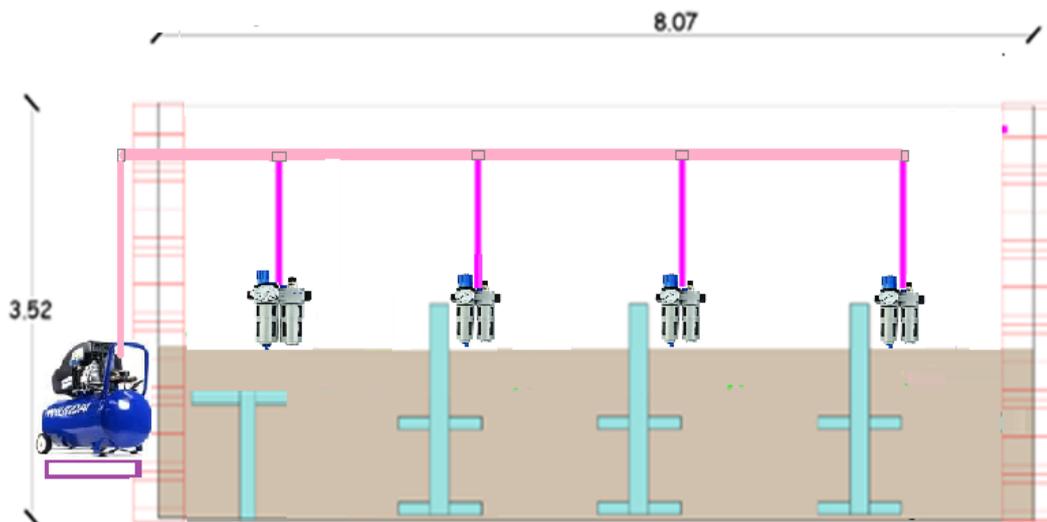


Figura 4. 6 Diseño de red de distribución de aire comprimido

Fuente: El autor

El diámetro del tubo de aluminio es de 25mm que corresponde a 1 pulgada, cuenta con los accesorios principales para derivar 4 ramales secundarios. La figura 4.7 muestra la instalación de aire comprimido implementada en el laboratorio de la FETD.



Figura 4. 7 Instalación de aire comprimido en laboratorio de Neumática de la FETD

Fuente: el autor

Los accesorios utilizados para conectar los ramales de red secundaria con la red principal, se aprecian en la figura 4.8



Figura 4. 8 Acople para tubos (roscados y con arandela) de diámetros 25mm

Fuente: Parker, 2017

Los acoples de unión se conectan de forma instantánea al tubo de aluminio. Basta con introducir el tubo en el acople hasta el indicador de conexión. La arandela de sujeción del acople (elemento que permite asegurar la conexión) se lo puede asegurar también, y así la conexión queda asegurada.

La figura 4.9 muestra la unión para conectar red principal proveniente del compresor y ramales secundarios que llevara el aire comprimido para su consumo.



Figura 4. 9 Uniones para tubos de aluminio diámetros de 25 mm

Fuente: Parker, 2017

Los acoples de unión como el de la figura 4.9 se conectan al tubo de aluminio mediante una brida doble. Esto hace solidarios a la tuerca del cople y al tubo. La conexión se realiza mediante un sencillo atornillado.

Los cuerpos y tuercas de los acoples de unión de  $\varnothing 16.5$ ,  $\varnothing 25$  y  $\varnothing 40$  cuentan con marcas visuales en forma de flechas llenas y flechas vacías que materializan el par de ajuste óptimo. Durante el montaje de los acoples de unión las tuercas se atornillan a un par de ajuste determinado en el cuerpo del cople.

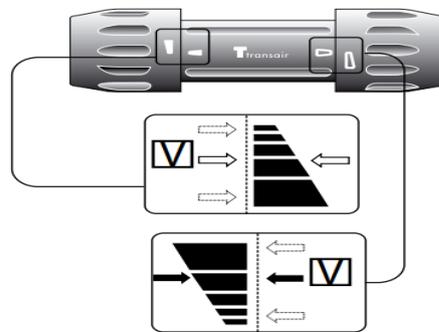


Figura 4. 10 Sellado o conexión de acople

Fuente: (Legris Transair, 2015)

Este par de ajuste garantiza el sellado y la seguridad de cada conexión. Basta con introducir el tubo en el cople hasta el indicador de conexión. Para desconectar, desatornille la tuerca media vuelta y retire el tubo. Vease la figura 4.11.

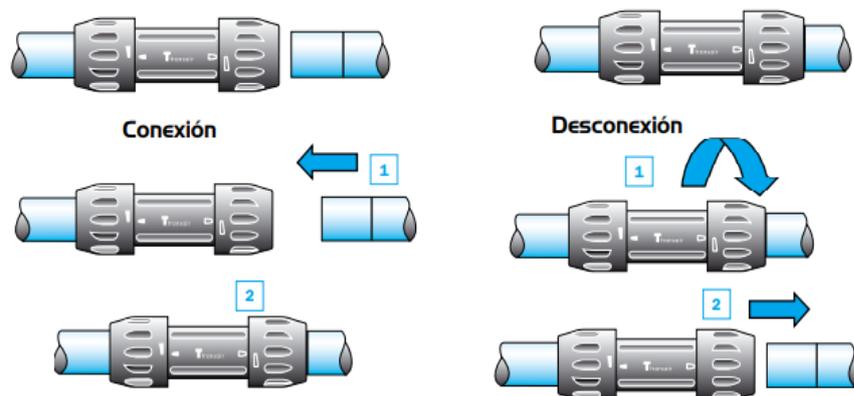


Figura 4. 11 Conexión y desconexión de tubos y acoples

Fuente: (Legris Transair, 2015)

Se deberá efectuar los siguientes pasos:

- 1 - Desatornillar una de las tuercas del cople e introducirla en el tubo.
- 2 - Colocar la doble brida en los alojamientos previstos para este fin (dos orificios situados en el extremo del tubo).

La válvula de cierre o bloqueo situadas de manera regular a lo largo de la red y en puntos clave, como la salida del compresor y antes de las herramientas y dispositivos neumáticos, simplifican tanto las intervenciones como los mantenimientos. En la figura 4.12 se muestra la válvula de cierre que se instalaran despues del compresor y la red de distribución principal y así tambien se instalaran en cada ramal o red secundaria antes de llegar a las unidades de mantenimiento respectivas.

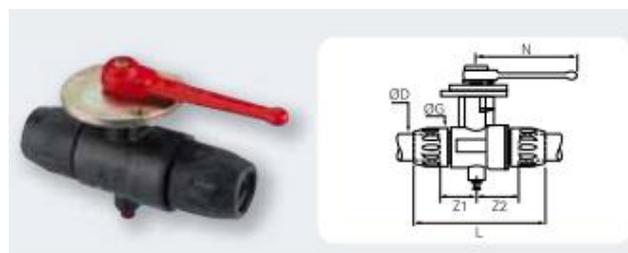


Figura 4. 12 Válvula de cierre

Fuente: (Legris Transair, 2015)

Estas válvulas son como llaves de paso que evitan detener el suministro de aire comprimido en la red cuando se hagan reparaciones en un ramal o ampliaciones de la instalación.

La figura 4.13 muestra ejemplo de ramales o red secundaria con válvulas de cierre.

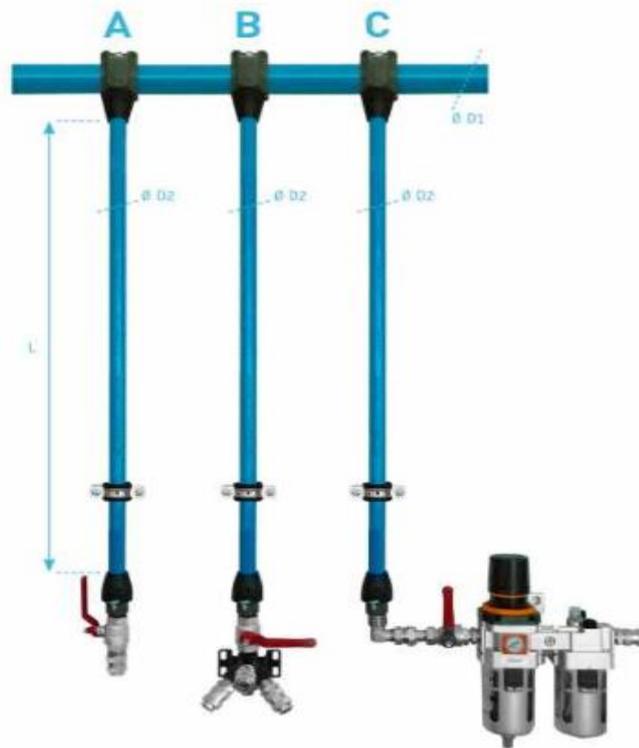


Figura 4. 13 Ubicación de válvulas de cierre en diversas derivaciones

Fuente: (NPTEL, 2013)

Las tomas de aire para las bajantes a una máquina (o tableros FESTO) no deben de hacerse nunca en la parte inferior de la tubería sino en la parte superior, para evitar que el agua condensada que circula por defecto de la gravedad pueda ser recogida y llevada a los distintos equipos neumáticos conectados a la red.

La pérdida de presión hasta el punto más desfavorable se debe establecer en un máximo de 10% de la presión de operación del sistema (aunque lo ideal es 5% o menos).

En las bajadas de acometida, y antes a la toma del equipo neumático, hay que instalar una unidad de mantenimiento compuesto por; filtro, regulador de presión y lubricador.

#### **4.6 Implementación de red de distribución de aire comprimido**

Las siguientes imágenes muestran los trabajos realizado para la implementación de la instalación de aire comprimido para el laboratorio de Neumática de la FETD.



Figura 4. 14 Instalación del compresor de pistón 3 hp

Fuente. El autor



Figura 4. 15 Instalación de la Válvula de cierre y unidad de mantenimiento

Fuente: el autor



Figura 4. 16 Conexión de unidad de mantenimiento y unidad de derivación en tablero

Fuente: el autor



Figura 4. 17 Ajuste de derivador de aire en tablero de trabajo FESTO

Fuente: el autor



Figura 4. 18 Conexión de mangueras en tablero FESTO

Fuente el autor

## Conclusiones

Al término de este trabajo investigativo, se concluye lo siguiente:

- El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido
- El diseño de la instalación de red de distribución de aire comprimido debe ser basado en normativas técnicas, para el adecuado dimensionamiento de tuberías, accesorios, equipos y generador de aire comprimido.
- Con el fin de preservar una calidad constante y duradera del aire distribuido, los tubos deben ser de aluminio (25 mm o equivalente a 1 pulgada) para garantizar una ausencia total de corrosión, a diferencia del rendimiento de las redes con tubos de acero, que se deterioran con el tiempo debido a la corrosión.
- La capacidad del compresor es de 3HP, el cual generará un caudal de demanda de 257.04 Litros/min con una presión de trabajo de entre 8 y 10 bares, necesarios para que los equipos y/o herramientas neumáticas trabajen de manera eficiente.
- Las fugas de la red de aire comprimido se reducen con los accesorios y tubería de aluminio, pues en los sistemas con rosca (acero y plástico) tienen el inconveniente de las fugas, pues se ha estimado que entre un 8 y un 10% del aire se escapa por las conexiones. Esto aumenta y prolonga el trabajo que realizan los compresores, elevando el coste de suministro.
- El caudal de aire comprimido será diseñado con base en la demanda de aire en ese momento y las expectativas de crecimiento para no tener que asumir un mayor gasto en un futuro con el cambio de las instalaciones.
- Las pérdidas de presión deben estar dentro de las medidas permisibles, lo que constituye es una labor esencial a la hora de desarrollar el diseño. Los elementos de una red de aire comprimido como codos, válvulas, Ts, cambios de sección, equipos de mantenimiento, y otras se oponen al flujo

generando pérdidas de presión de aire. Las pérdidas de presión no deberían de estar por encima del 5%.

- La velocidad de circulación de aire: Hay que tenerla en cuenta puesto que el aumento produce mayores pérdidas de presión. La velocidad nunca debe ser mayor a los 6 m/seg en los ramales troncales ni superior a los 10 m/seg en las derivaciones a las maquinas.
- De acuerdo a todos los parámetros exigidos, se concluye que todas las características, elementos del sistema y accesorios fueron debidamente seleccionados, cumpliendo con las normas pertinentes para su correcta y eficiente operación, garantizando de esta manera una larga vida útil del equipo.

## **Recomendaciones**

- Se recomienda revisar la red de aire comprimido de manera periódica, con una frecuencia trimestral, para poder percatarse en el caso de que exista alguna fuga en el sistema.
- Se recomienda a los directivos de la FETD, que brinden la atención necesaria a este tipo de proyectos que los estudiantes realizan, ya que son proyectos viables sin costo alguno y que surgen de necesidades que existen.
- En caso de mantenimiento o modificación de la red, cualquier intervención deberá realizarse después de la purga de la red.
- Para el buen funcionamiento del sistema y para evitar daños por corrosión en la tubería o ramales secundarios del aire comprimido, se debe purgar el sistema ya que el aire que está en el ambiente tiene partículas de agua en forma de vapor.
- El compresor debe ser manipulado sólo por personal autorizado, utilizando equipos adecuados de protección personal y respetando las señales de seguridad.
- Colocar derivaciones tipo "T" para los puntos de drenaje, dado que los cambios bruscos de dirección favorece el proceso de separación de las gotitas del agua de la corriente de aire.
- La instalación de las tuberías deberá realizarse con pendiente (aprox. 1%) en la dirección del flujo, para así favorecer la recogida de los condensados.
- Las conexiones y ramificaciones desde una tubería principal o de distribución deberán realizarse desde la parte de arriba de la tubería con el fin de impedir en lo posible la entrada de agua.
- Siempre que quede algún punto de la instalación en una cota de menor altura que sus alrededores, significará que será una zona de concentración de condensados, por lo que habrá que colocar puntos de drenaje. Igualmente, en toda línea principal de la instalación deberá colocarse puntos de drenaje cada 30 metros aprox., que deben situarse por debajo de la tubería

## Referencias Bibliográficas

Arce, R. (2012). *Produccion de Aire*. Obtenido de <https://renatosarce.files.wordpress.com/2011/11/cap2-produccion-de-aire-comprimido.pdf>

*Automatización Industrial*. (2010). Obtenido de Tratamiento del Aire Comprimido: <http://industrial-automatica.blogspot.com/2010/09/tratamiento-del-aire-comprimido.html>

*Automatización Industrial*. (2011).

Bonilla. (2014). *DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO ELECTRONEUMÁTICO PARA LABORATORIO DE NEUMÁTICA DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA*. Escuela Superior Politecnica de Chimborazo , Riobamba.

Cassani, M. (2014). *Marcelo Cassani's Blog*. Obtenido de Por que se genera vacio con aire comprimido: <https://marcelocassani.wordpress.com/2014/10/20/vacio/>

Centralair. (2013). *Actuadores Neumáticos* . Obtenido de <http://www.centralair.es/es/actuadores-lineales-todo-nada>

Disumtec. (2012). Obtenido de <https://www.disumtec.com/CILINDRO-TELESCOPICO-DE-3-EXTENSIONES-TLT>

Educativa. (2006). *Producción del aire comprimido* . Obtenido de [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/21\\_el\\_compresor.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/21_el_compresor.html)

Educativa. (2013). *Actuadores Neumáticos*. Obtenido de [http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/3\\_actuadores\\_neumaticos.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/1000/1108/html/3_actuadores_neumaticos.html)

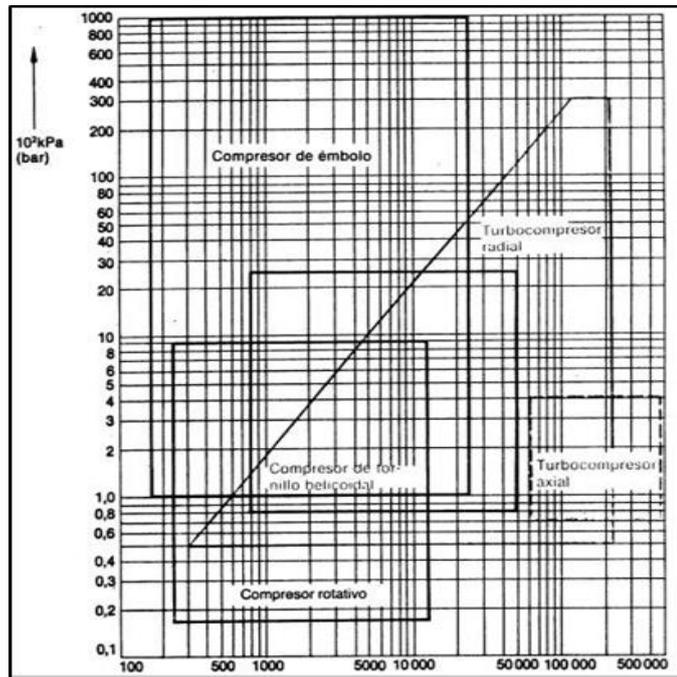
*Estrucplan*. (2012). Obtenido de Tratamiento del Aire Comprimido : <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/entrega.asp?IdEntrega=3006>

- Festo. (2013). Obtenido de FAQ-Tecnica de Vacío:  
[https://www.festo.com/cms/es-ve\\_ve/9814.htm#faq](https://www.festo.com/cms/es-ve_ve/9814.htm#faq)
- Hernández Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*. México: McGraw -Hill Educación.
- Hidráulica y Neumática S.A – HNSA. (2018). *UNIDADES DE MANTENIMIENTO FRL*.
- Industrial, A. (2010). *Automatización Industrial* . Obtenido de <http://industrial-automatiza.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- IndustrialAutomatica. (2010). *IndustrialAutomatica*. Recuperado el Julio de 2018, de IndustrialAutomatica: <http://industrial-automatiza.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.html>
- Ingemecánica. (2012). *Diseño de Sistemas de*. Obtenido de <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn201.html>
- Interempresas, R. (2014). *Interempresas*. Obtenido de La eficiencia energética en los sistemas de aire comprimido: <https://www.interempresas.net/Laboratorios/Articulos/130259-La-eficiencia-energetica-en-los-sistemas-de-aire-comprimido.html>
- Jimenez, A. (Mayo de 2012). *Producción del aire comprimido*. Obtenido de WordPress: <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/produccion-del-aire-comprimido/>
- Legris Transair. (2015). *Redes de aire inteligente*. Obtenido de [http://srtautomation.com/images/Productos/Generaci%F3n%20y%20Distribuci%F3n%20de%20aire%20comprimido/02.%20Redes%20de%20aire%20comprimido/Transair%20for%20Compressed%20Air%20Catalog%20Spanish%20\(Mex\).pdf](http://srtautomation.com/images/Productos/Generaci%F3n%20y%20Distribuci%F3n%20de%20aire%20comprimido/02.%20Redes%20de%20aire%20comprimido/Transair%20for%20Compressed%20Air%20Catalog%20Spanish%20(Mex).pdf)
- Mundo Compresor. (2018). *Diferentes tipos de compresores*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>

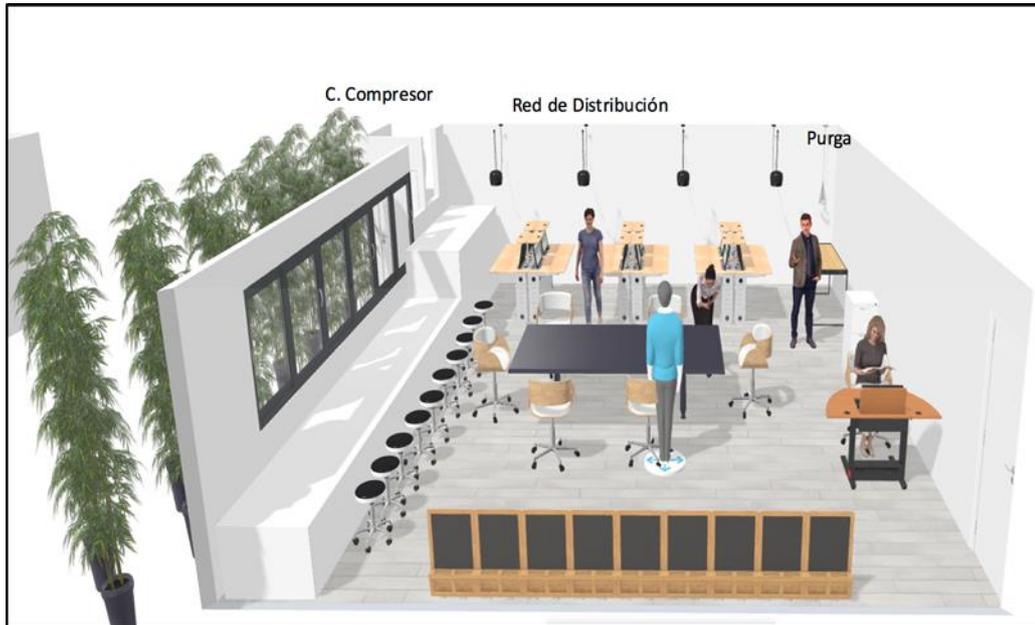
- Mundo Compresor. (2018). *La filtración en las líneas de aire comprimido*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/filtracion-lineas-aire-comprimido>
- Neumática Básica. (2017). *Cálculo de redes*.
- NPTEL. (2013). *Pneumatic System*. Obtenido de <https://nptel.ac.in/courses/112103174/31>
- PROVALTEC. (2017). Obtenido de <https://www.provaltec.cl/informacion-tecnica/medidas/tabla-equivalencia-nominal>
- SCHMALZ. (2012). Obtenido de Generadores de vacío: <https://www.schmalz.com/es/saber-de-vacio/el-sistema-de-vacio-y-sus-componentes/generadores-de-vacio/>
- Sigaltec. (2015). *Actuadores neumáticos Air Torque*. Obtenido de <http://sigaltec.es/producto/actuadores-neumaticos-air-torque-descripcion/>
- Velazco, J., & Averza, G. (2017). *Sacunefminds*. Obtenido de Sistema de aire comprimido UNEFM: <https://sacunefminds12.blogspot.com/>

# ANEXOS

Anexo 1. Diagrama para la elección de compresor



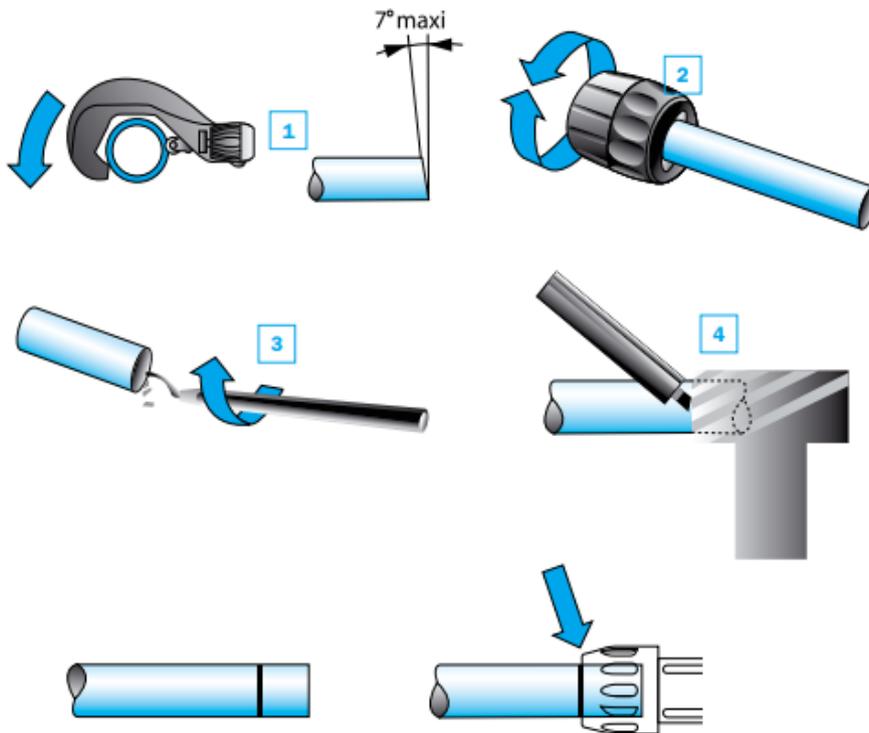
## Anexo 2: Vista tridimensional del laboratorio de Neumática



**Vista tridimensional**



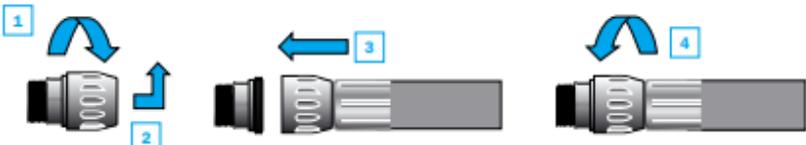
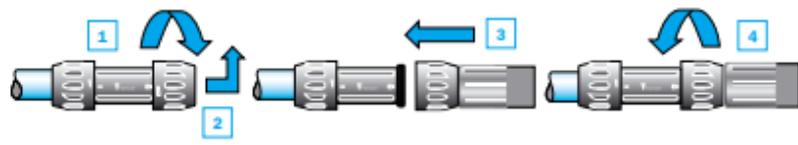
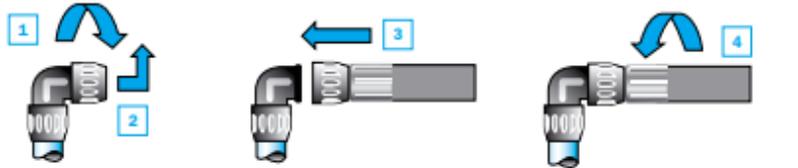
### Anexo 3. Herramientas para cortar tubos de aluminio de 25 mm



- L - Corte del tubo:
- colocar el tubo en el corta-tubos
  - llevar la cuchilla al nivel del tubo
  - girar el corta-tubos alrededor del tubo apretando regularmente la rueda.

- 2 - Achaflanar cuidadosamente los contornos exteriores.
- 3 - Desbarbar igualmente el extremo del tubo.
- 4 - Marcar el indicador de conexión con la ayuda de una herramienta de marcado.

## Consejos para emplear unión o codo en tubos de aluminio de diámetro 25 mm

<p>&gt; Ø 16,5 Ø 25 Ø 40</p>	 <p>1 - Desatornillar la tuerca del adaptador roscado. 2 - Extraerla.</p> <p>3 - Acercar el extremo de la manguera a la rosca del adaptador. 4 - Atornillar.</p>
<p>&gt; Con la ayuda de un adaptador roscado</p>	 <p>1 - Desatornillar la tuerca del cople unión. 2 - Extraerla.</p> <p>3 - Acercar el extremo de la manguera a la rosca del cople unión. 4 - Atornillar.</p>
<p>&gt; Con la ayuda de un codo igual de 90°</p>	 <p>1 - Desatornillar la tuerca del codo 2 - Extraerla.</p> <p>3 - Acercar el extremo de la manguera a la rosca del codo. 4 - Atornillar</p>

## Anexo 4. Presupuesto

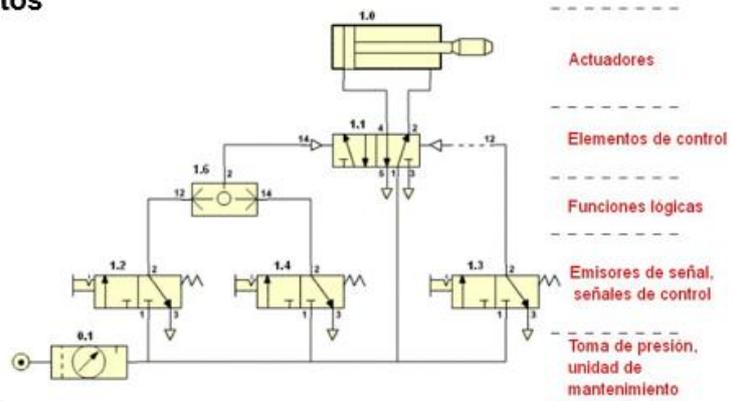
DESCRIPCION	CODIGO	CANT	PRECIO	% DSCTO	TOTAL
TUBERIA ALUMINIO NATURAL 25mm 6m	CL 09A-PIP6-025-C	3	\$33.11		\$99.33
TEE 25mm	OM 09P-TEET-025	4	\$20.46		\$81.84
VALVULA ESFERICA 25mm	OM 09P-VALD-025	4	\$54.37		\$217.48
CODO 90 25mm	OM 09P-ELBD-025	3	\$15.41		\$46.23
FILREG 40micro 140CFM 1/2NPT	CT NAW40-4	4	\$65.08		\$260.32
ACOPLE MACHO 25mm X 3/4	OM 09P-CONM-025-G05	2	\$11.07		\$22.14
COMPRESOR Hori 2HP 26.5GAL 145PSI	TTM SB20-100H	1	\$613.22		\$613.22
DREN ELECTRI 3/8 BSP 230V	OM 045-D132-3/8-230	1	\$202.80		\$202.80
SOPORTE METALICO 20mm	OM 09M-FERF-020	12	\$10.00		\$120.00
<b>SUBTOTAL</b>					<b>\$1,663.96</b>
FLETE					\$0.00
IVA					\$199.60
<b>TOTAL</b>					<b>\$1,862.96</b>

**DANNY (e) PINCAY**  
 MAQUINAS Y MOTORES S.A.

Por favor emitir cheque a nombre de Maquinas y Motores S.A. Text Field

## Anexo 5. Practicas de circuitos neumáticos

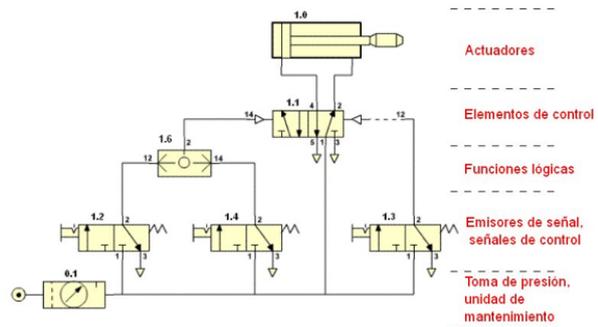
### Colocación de elementos



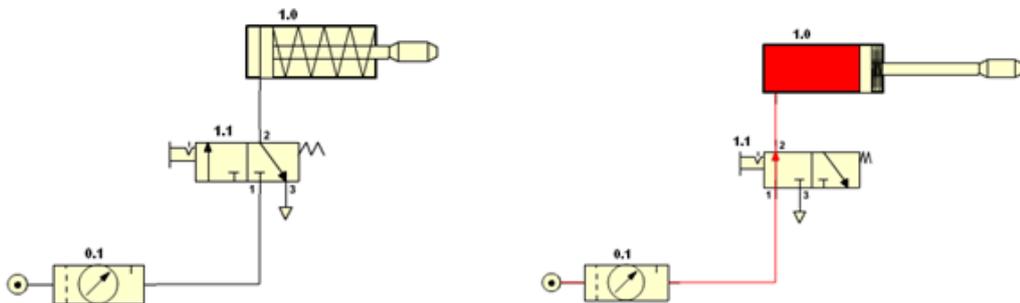
- Actuadores.
- Elementos de control.
- Funciones lógicas.
- Emisores de señal, señales de control.
- Toma de presión y unidad de mantenimiento.

### Designación de componentes

Designación de componentes	Números
Alimentación de energía	0.
Elementos de trabajo	1.0, 2.0, etc.
Elementos de control o mando	.1
Elementos ubicados entre el elemento de mando y el elemento de trabajo	.01, .02, etc.
Elementos que inciden en el movimiento de avance del cilindro	.2, .4, etc.
Elementos que inciden en el movimiento de retroceso del cilindro	.3, .5, etc.

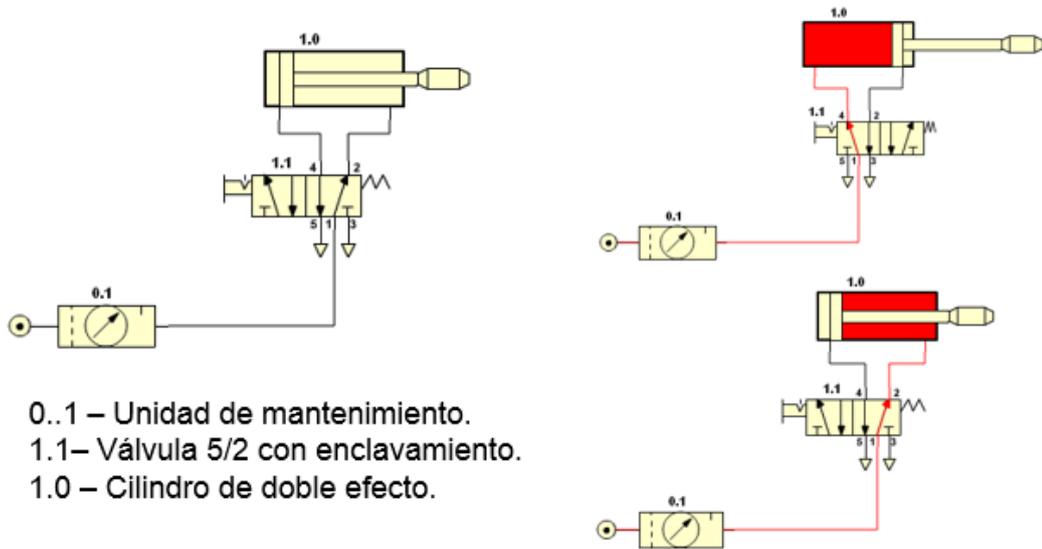


### Control de un cilindro de simple efecto

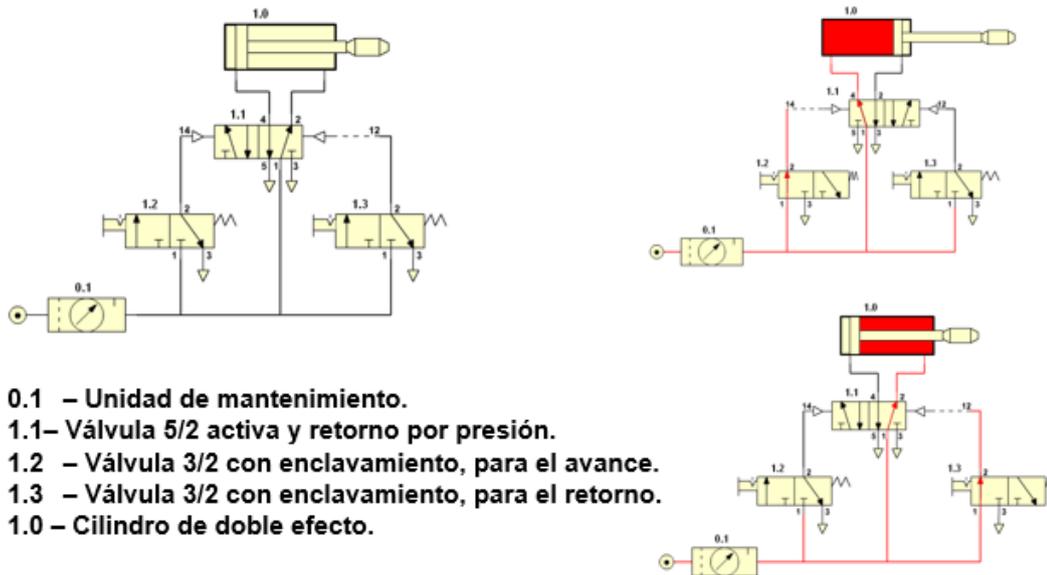


- 0.1 – Unidad de mantenimiento.
- 1.1 – Válvula 3/2 con enclavamiento.
- 1.0 – Cilindro de simple efecto.

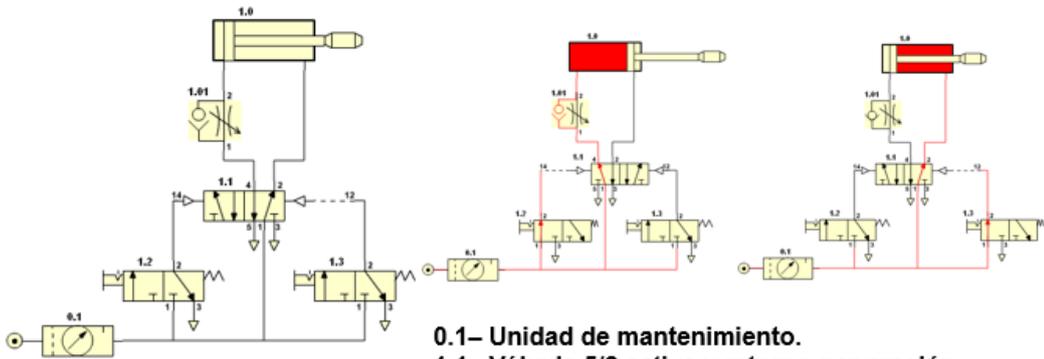
### Control de un cilindro de doble efecto



### Pulsador de avance y de retroceso, con cilindro de doble efecto

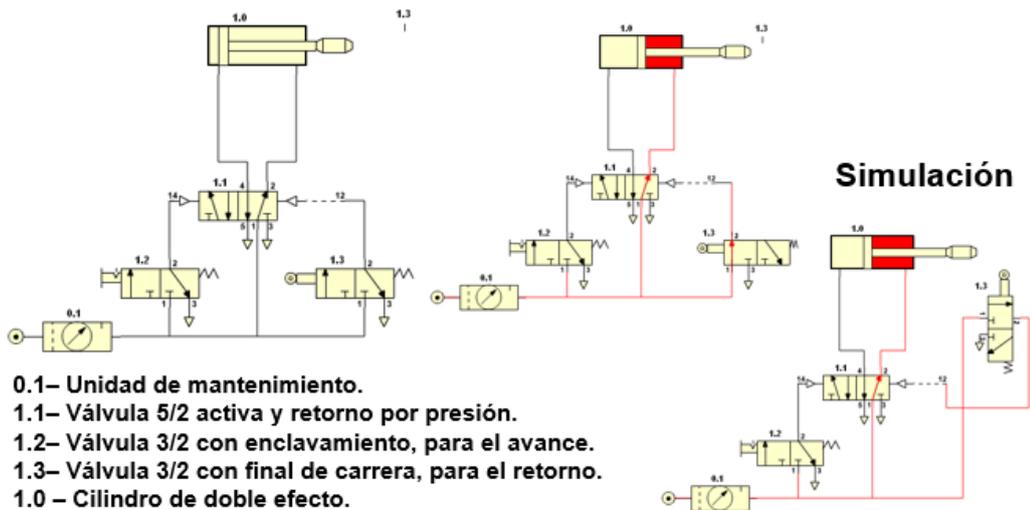


## Utilización de la válvula estranguladora de caudal



- 0.1– Unidad de mantenimiento.
- 1.1– Válvula 5/2 activa y retorno por presión.
- 1.2– Válvula 3/2 con enclavamiento, para el avance.
- 1.3– Válvula 3/2 con enclavamiento, para el retorno.
- 1.0 – Cilindro de doble efecto.
- 1.01- válvula estranguladora de caudal.

## Utilización de un final de carrera



- 0.1– Unidad de mantenimiento.
- 1.1– Válvula 5/2 activa y retorno por presión.
- 1.2– Válvula 3/2 con enclavamiento, para el avance.
- 1.3– Válvula 3/2 con final de carrera, para el retorno.
- 1.0 – Cilindro de doble efecto.



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**  
Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Pincay Galarza Danny Ricardo** con C.C: **0930628318** autor del trabajo de titulación: **“Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG”**, previo a la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador, para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigente.

Guayaquil, 19 de Marzo del 2019

---

**Pincay Galarza Danny Ricardo**  
C.C: 0930628318



**REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	"Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG"		
<b>AUTOR</b>	Pincay Galarza Danny Ricardo		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Luis Orlando Philco Asqui		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica con mención en Gestión Empresarial Industrial.		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	19 de marzo del 2019	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	95
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Neumática, Tratamiento aire comprimido		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Aire Comprimido, Neumática, Compresor, Laboratorio, Festo		
<b>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):</b>			
<p>El presente trabajo de titulación propone diseñar e implementar las instalaciones de aire comprimido para el laboratorio de Neumática, el objetivo principal es proponer el diseño de la instalación de tuberías que alimenten a tres tableros de trabajo FESTO más una tubería adicional con derivación a dos tomas de aire comprimido para alimentar de aire comprimido a equipos neumáticos y electro neumáticos que son proyectos realizados por estudiantes. A través de la metodología de investigación tipo descriptiva se establece un marco teórico de los componentes neumáticos, se emplea además el método analítico para calcular o dimensionar los componentes de una instalación de aire comprimido, también el método empírico para la implementación de la instalación de aire comprimido. El resultado es la aparatción de un adecuado laboratorio de neumática con alimentación proyectada en más del 30% de su capacidad de consumo neumático.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-0981261178	<b>E-mail:</b> pincay.danny@yahoo.es	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::</b>	<b>Nombre:</b> Philco Asqui Luis Orlando		
	<b>Teléfono:</b> +593-980960875		
	<b>E-mail:</b> luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			