



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON**  
**MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TEMA:**

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

**AUTOR:**

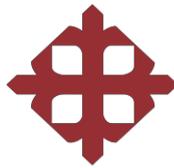
**Vera Mejía, Freddy Daniel**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de  
Ingeniero en Eléctrico-Mecánica**

**TUTOR:**

**MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar**

**Guayaquil, 15 de Agosto del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Vera Mejía, Freddy Daniel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánico**

### **TUTOR**

---

**MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar**

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

---

**MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando**

**Guayaquil, 15 de Agosto del 2018**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

**Yo, Vera Mejía Freddy Daniel**

### **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, 15 de Agosto del 2018**

**EL AUTOR**

---

**Vera Mejía, Freddy Daniel**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON**  
**MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**AUTORIZACIÓN**

**Yo, Vera Mejía Freddy Daniel**

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.

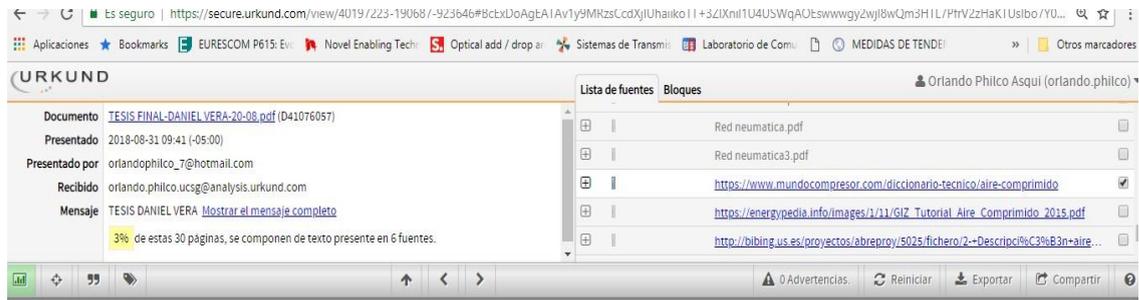
**Guayaquil, 15 de Agosto del 2018**

**EL AUTOR**

---

**Vera Mejía Freddy Daniel**

# Reporte Urkund



FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL TEMA: Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG AUTOR: Vera Mejía, Freddy Daniel Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico-Mecánica TUTOR: MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar Guayaquil, 15 de Agosto del 2018

II 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 Vera Mejía, Freddy Daniel, como requerimiento para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico-Mecánico TUTOR: MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar DIRECTOR DE LA CARRERA MSc. Heras Sánchez, Miguel Armando Guayaquil, 15 de Agosto del 2018

Reporte Urkund del Trabajo de Titulación denominado: **Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG** del estudiante **Vera Mejía, Freddy Daniel**. Se encuentra al 3 % de coincidencias.

Atentamente

**Ing. Orlando Philco Asqui, MSc.**

Revisor del Trabajo de Titulación

## **Dedicatoria**

Esta obra científica se la dedico a Dios quien me supo guiar por el buen camino, darme ánimos, fuerza y motivación para continuar adelante y no caer ni desmayar en los inconvenientes que se presentaban tanto así nunca perder la dignidad ni desfallecer en el intento.

A mi amada familia que por ellos soy lo que soy, su apoyos incondicionales en los momentos difíciles, gracias a ellos que me han dado a conocer mis valores, principios, carácter, perseverancia y mi coraje para seguir y lograr mis objetivos propuestos.

Gracias a mis amigos quienes me apoyaron y permitieron entrar en sus vidas durante todo estos años de estudios quienes compartimos ideas en clases y llegando alcanzar un verdadero profesionalismo.

## **Agradecimiento**

Primeramente agradezco a mi familia por estar siempre conmigo dándome ese apoyo incondicional quienes con su aliento me dieron fuerza y voluntad para seguir adelante.

Agradezco a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil en la Facultad Técnica para el Desarrollo quienes me abrieron las puertas para estudiar en esta carrera, e igual a los docentes quienes me llenaron de conocimiento y sabiduría para seguir adelante día a día.

Agradezco también de igual manera a mi distinguido Tutor de tesis MSc. Celso Bayardo Bohórquez Escobar por haberme brindado la oportunidad de recurrir a su capacidad y conocimiento profesional así como también a ver tenido la paciencia de guiarme durante todo el desarrollo de la tesis.

Y para finalizar agradezco a mi Jefe Ing. Gustavo Mazzini Muñoz quien siempre me apoyó y me dio consejos durante estos años de estudio e igual al Ing. Julio Cárdenas Landín quien colaboró dándome conocimiento y confianza en su prestigiosa empresa “Indueléctric S.A.”.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICO-MECÁNICA CON  
MENCION EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

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

**Ing. Manuel Romero Paz MSc.**

DECANO

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

**Ing. Raúl Montenegro Tejada MSc.**

COORDINADOR DEL ÁREA

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

**Ing. José Martillo Aseffe Mgs.**

OPONENTE

## ÍNDICE GENERAL

### Contenido

ÍNDICE GENERAL .....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVI
RESUMEN .....	XVII
ABSTRACT.....	XVIII
CAPÍTULO 1 .....	1
GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN .....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Planteamiento del problema.....	2
1.3 Objetivo General .....	2
1.4    Objetivos Específicos.....	2
1.5 Metodología de Investigación.....	2
CAPÍTULO II.....	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Producción del Aire Comprimido.....	4
2.1.1 Clasificación del compresor.....	7
2.1.1.1 Compresor de émbolo o pistón .....	8
2.1.1.2 Compresor de émbolo de dos etapas.....	8
2.1.1.3 Compresor de émbolo con membrana .....	9
2.1.1.4 Compresor de Roots.....	10
2.1.1.5 Compresor radial de paletas.....	10

2.1.1.6	Compresor de tornillo .....	11
2.1.1.7	Turbocompresor radial.....	14
2.1.1.8	Turbocompresor axial .....	14
2.1.2	Filtro.....	15
2.1.2.1	Regulador de presión .....	15
2.1.2.2	Lubricador.....	16
2.1.3	Actuadores Neumáticos .....	16
2.1.3.1	Características de Actuadores Neumáticos.....	17
2.1.3.2	Tipos de Actuadores Neumáticos .....	18
2.1.3.2.1	Actuadores Lineales.....	18
.....	.....	21
2.1.3.2.2	Actuadores de Movimiento Rotativo .....	23
2.1.4	Redes de Distribución.....	27
2.2	Tratamiento del Aire Comprimido.....	28
2.2.1	Secador.....	29
2.2.1.1	Secado por absorción .....	29
2.2.1.2	Secado por absorción .....	30
2.2.1.3	Secado en frio .....	31
2.2.2	Filtro de Aire.....	32
2.2.3	Regulador de Presión .....	33
2.2.4	Lubricador.....	33
2.2.5	Unidad de Mantenimiento (FRL).....	34
2.3	Generación de vacío.....	35
2.3.1	Definición de Vacío .....	35
2.3.2	Generador de Vacío .....	35

2.3.3	Generación de vacío.....	36
2.4	Rendimiento y Eficiencia.....	44
CAPÍTULO 3.....		48
CRITERIOS PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO .....		48
3.1	Sistema de control del aire comprimido .....	48
3.2	Fuente y distribución del aire comprimido .....	48
3.3	Banco Didáctico.....	50
3.3.1	Peso de los elementos a colocarse en el tablero.....	50
3.4	Dimensionado de las tuberías .....	52
3.5	Red abierta .....	52
3.6	Red cerrada .....	53
3.7	Inclinación.....	53
CAPÍTULO 4.....		55
Diseño de instalación de aire comprimido para laboratorio de Neumática .....		55
4.1	Localización.....	55
4.2	Distribución del Laboratorio.....	56
4.2.1	Red de distribución .....	56
4.2.2	Puestos de prácticas – Ubicación.....	56
4.2.3	Cuarto de compresor – Ubicación.....	57
4.3	Diseño de obras físicas.....	58
4.3.1	Red de distribución y almacenamiento de aire comprimido.....	58
4.3.1.1	Consumo de aire del laboratorio .....	58
4.3.1.2	Acumulador de aire comprimido .....	60
4.3.1.3	Cálculo de tubería .....	60

4.3.1.4 Tendido de la red .....	61
4.3.2 Elección del compresor.....	62
Conclusiones.....	63
Recomendaciones .....	64
Referencias Bibliográficas.....	65
Anexos .....	68

## ÍNDICE DE FIGURAS

### Capítulo 2.

Figura 2. 1 Partes de un compresor de aire .....	5
Figura 2. 2 Compresor de émbolo o pistón.....	8
Figura 2. 3 Compresor de émbolo de dos etapas .....	9
Figura 2. 4 Compresor de émbolo con membrana.....	10
Figura 2. 5 Compresor de Roots .....	10
Figura 2. 6 compresores de paletas. Tipos de compresores.....	11
Figura 2. 7 Compresor de Tornillo .....	12
Figura 2. 8 Funcionamiento de compresor de tornillo lubricado.....	12
Figura 2. 9 Turbocompresor Radial .....	14
Figura 2. 10 Turbocompresor axial.....	15
Figura 2. 11 Esquema interno de un Filtro .....	15
Figura 2. 12 Regulador de presión.....	16
Figura 2. 13 Vista Interna de un filtro con lubricador. ....	16
Figura 2. 14 Vista Interna de un Actuador Neumático Air Torque .....	17
Figura 2. 15 Cilindro de simple efecto.....	18
Figura 2. 16 Cilindro de simple efecto de membrana .....	19
Figura 2. 17 Operación de cilindro simple efecto.....	19
Figura 2. 18 Partes de un Cilindro de Doble Efecto .....	20
Figura 2. 19 Esquema de un cilindro giratorio .....	21
Figura 2. 20 Cilindro Telescópico de 3 extensiones .....	21
Figura 2. 21 Vista Interior de un Cilindro de doble vástago.....	22
Figura 2. 22 Vista interna de un cilindro sin vástago .....	23
Figura 2. 23 Motor de émbolo radial .....	23

Figura 2. 24 Vista interna de un motor de aletas .....	24
Figura 2. 25 Esquema del funcionamiento de un sistema neumático .....	26
Figura 2. 26 Diseño de una red de distribución .....	27
Figura 2. 27 Secado por absorción.....	30
Figura 2. 28 Secado por adsorción.....	31
Figura 2. 29 Secado en Frio .....	32
Figura 2. 30 Filtro .....	32
Figura 2. 31 Regulador. ....	33
Figura 2. 32 Lubricador .....	34
Figura 2. 33 Unidad de Mantenimiento .....	35
Figura 2. 34 Aspiración libre. ....	36
Figura 2. 35 Aspiración posterior con la pieza. ....	36
Figura 2. 36 Generador de vacío Venturi.....	37
Figura 2. 37 Tubo Venturi. ....	38
Figura 2. 38 Succión por ventosas. ....	39
Figura 2. 39 Succión por ventosas. ....	39
Figura 2. 40 Válvula de retención de vacío ISV.....	40
Figura 2. 41 Gráfica de operación de generadores tipo H y L. ....	41
Figura 2. 42 Ventosa en posición horizontal, movimiento vertical y ejemplo de ventosa de sujeción de vacío, redonda.....	42
Figura 2. 43 Ventosa en posición horizontal, movimiento horizontal y ejemplo de ventosa de sujeción de vacío, oval.....	42
Figura 2. 44 Ventosa en posición vertical, movimiento horizontal y ejemplo de ventosa de fuelle. ....	42
Figura 2. 45 Material de ventosas y aplicación.....	44
Figura 2. 46 Reparto de costes de una instalación de aire comprimido.....	45

Figura 2. 47 Puntos más susceptibles a las fugas de una instalación de aire comprimido (Interempresas, 2014).....	47
---	----

### Capítulo 3.

Figura 3. 1 Instalaciones del aire comprimido.....	50
--	----

Figura 3. 2 Estructura del banco .....	51
--	----

Figura 3. 3 Tablero Festo didactic .....	51
--	----

Figura 3. 4 Nomograma de diámetro de tubería .....	52
--	----

Figura 3. 5 Red de distribución abierta.....	53
--	----

Figura 3. 6 Red de distribución cerrada.....	53
--	----

Figura 3. 7 Porcentaje de inclinación de la red.....	54
--	----

### Capítulo 4.

Figura 4. 1 Laboratorio de Neumática y compresores de aire comprimido.....	55
--	----

Figura 4. 2 Espacio físico del laboratorio de Neumática de FETD .....	55
---	----

Figura 4. 3 Red de distribución.....	56
--------------------------------------	----

Figura 4. 4 Tableros para neumática de la FETD .....	57
--	----

Figura 4. 5 Cuarto de compresor.....	57
--------------------------------------	----

## ÍNDICE DE TABLAS

### Capítulo 2.

Tabla 2. 1 Características, materiales más usados y accesorios de los actuadores neumáticos .....	17
Tabla 2. 2 Características de los Actuadores Neumáticos .....	24
Tabla 2. 3 Punto de Condensación.....	28
Tabla 2. 4 Cambios en la presión del aire.....	40
Tabla 2. 5 Diámetro de tubos.....	43

## **RESUMEN**

El presente trabajo de titulación propone el dimensionamiento de las instalaciones de aire comprimido para el laboratorio de Neumática, desde hace más de 8 años dicho laboratorio ha operado con tres compresores didácticos de 1 hp y hoy en día por falta de mantenimiento preventivo un compresor está fundido, con lo cual las prácticas se dificultan ya que con cada compresor se puede realizar ejercicios de neumática en dos lados de un tablero. De esta manera el objetivo principal es proponer el diseño de la instalación de tuberías que alimenten a tres tableros más una tubería adicional con derivación a dos tomas de aire comprimido para que funciones equipos que son proyectos realizados por estudiantes. A través de la metodología de investigación se establece un marco teórico de los componentes neumáticos, se emplea métodos descriptivos para caracterizar dichos componentes, también el método empírico para el cálculo y diseño de una instalación de aire comprimido para el laboratorio de la FETD.

**PALABRAS CLAVES: AIRE COMPRIMIDO, NEUMÁTICA, COMPRESOR, LABORATORIO, FESTO**

## **ABSTRACT**

The present work of titulación proposes the dimensioning of the installations of compressed air for the laboratory of Pneumatics, for more than 8 years said laboratory has operated with three didactic compressors of 1 hp and nowadays for lack of preventive maintenance a compressor is melted, with which the practical ones are difficult since with each compressor pneumatic exercises can be realized in two sides of a board. In this way, the main objective is to propose the design of the installation of pipes that feed three panels plus an additional pipe with two compressed air outlets for equipment that are projects carried out by students. Through the research methodology a theoretical framework of the pneumatic components is established, descriptive methods are used to characterize said components, also the empirical method for the calculation and design of an air installation, compressed for the laboratory of the FETD.

**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 qué 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 seis puestos de trabajo es un aspecto que preocupa, por cuanto se necesita de más capacidad del compresor para la generación del aire comprimido.

## **1.3 Objetivo General**

Estudiar la producción del aire comprimido para sistemas electro-neumáticos y propuesta de dimensionamiento 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 y electro neumático.
2. Determinar como un sistema neumático puede llegar a ser eficiente.
3. Plantear el dimensionamiento de una 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;** consiste en describir fenómenos, situaciones o contextos, es decir, detallar cómo son y se manifiestan las variables a estudiar, según (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2010). Y en particular, este trabajo de investigación busca detallar las características de fallas en motores eléctricos de la FETD para posteriormente someterlo a un análisis, es decir, se pretende en este estudio especificar la falla existente en motores, el cual consume mucha energía y a la vez, producen vibraciones, calentamiento, bloqueo de motores, etc. (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2010). A su vez, este método pretende estudiar la termografía infrarroja en el

desempeño de máquinas eléctricas rotatorias, luego a haber de detallado las características mencionadas, tal como especifica en el objetivo del trabajo de investigación.

- **Método explicativo;** según (Hernández Sampieri, Fernández, & Baptista, 2010) está enfocado en explicar por qué sucede un fenómeno determinado y en qué condiciones se manifiestan. Por tanto, implica estudiar las causas del mismo, es decir, determinar el análisis o diagnóstico de fallas en motores eléctricos de inducción, a través del uso de cámaras termográficas para recolectar información de radiación térmica, tal como se plantea en los objetivos específicos.

## CAPÍTULO II

### 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 acondicionador de aire, depósito acumulador, redes de distribución, aplicaciones neumáticas que se constituyen por elementos de control, diferentes actuadores y por un compresor. 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<sup>3</sup>/h, m<sup>3</sup>/ 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<sup>3</sup> o litros (l).

S – Representa la sección de la tubería en m<sup>2</sup>.

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).

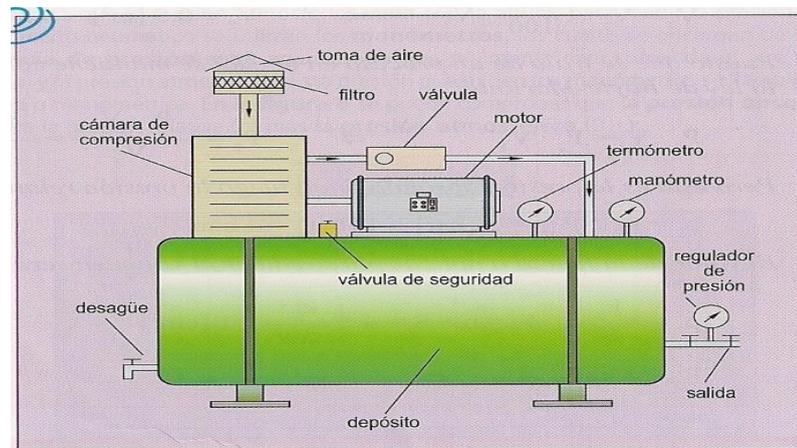


Figura 2. 1 Partes de un compresor de aire

Fuente: (Jimenez, 2012)

**Válvula de seguridad** – Esta válvula 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.

### **Compresores booster:**

Son un tipo de compresores que trabajan con una presión en la aspiración, superior a la atmosférica. Suelen instalarse en combinación con un compresor tradicional, para elevar la presión final de éste. (Mundo Compresor, 2018).

#### **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

#### **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)

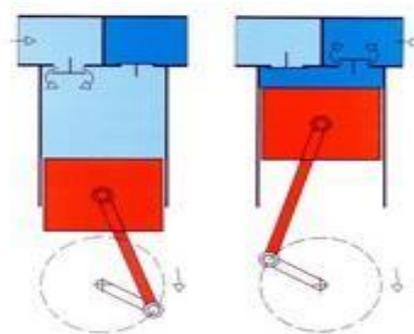


Figura 2. 2 Compresor de émbolo o pistón

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.

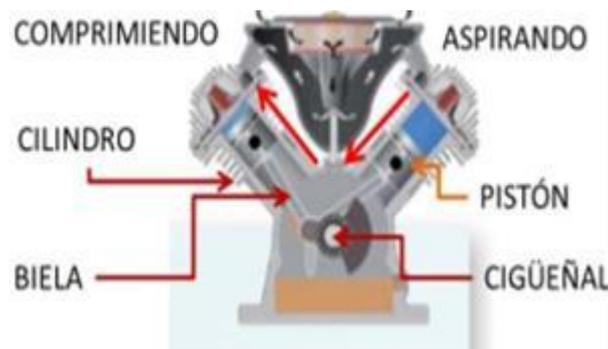


Figura 2. 3 Compresor de émbolo de dos etapas

**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.

### **2.1.1.3 Compresor de émbolo con membrana**

Su funcionamiento es similar al compresor de émbolo de dos etapas, la diferencia es que la aspiración y compresión es realizada por una membrana a través de un movimiento alternativo. Este compresor otorga aire comprimido limpio de aceite, por lo que es adecuado para industrias alimentarias, farmacéuticas, etc.

En la Figura 2.4 se encuentra el diagrama de un compresor de émbolo con membrana (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

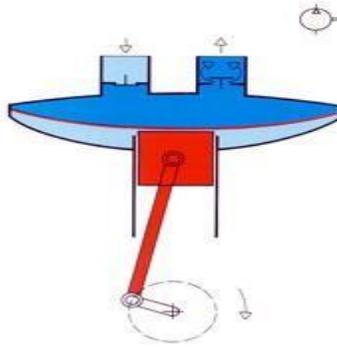


Figura 2. 4 Compresor de émbolo con membrana

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

#### 2.1.1.4 Compresor de Roots

Este compresor utiliza un doble husillo, cuando gira aspira el aire y lo comprime. Suministra aire con mayor presión que los anteriores. En la Figura 2.5 se encuentra el Compreso de Roots (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

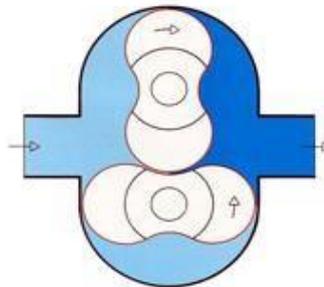


Figura 2. 5 Compresor de Roots

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

#### 2.1.1.5 Compresor radial de paletas

En este compresor la aspiración es realizada cuando el volumen de la cámara es relativamente grande que genera la compresión para disminuir el mismo progresivamente hacia la salida. Este compresor utiliza paletas que giran en cilindro, la fuerza centrífuga que se genera comprime estas paletas contra las paredes del cilindro. En la figura 2.6 se aprecia el compresor radial de paletas.

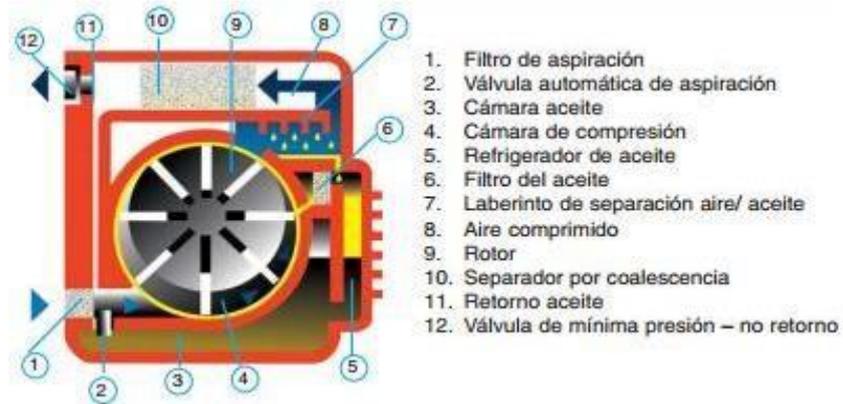


Figura 2. 6 compresores de paletas. Tipos de compresores

Fuente: (Mundo Compresor, 2018)

Durante el giro del rotor, las paletas flotantes salen y entran desde su interior, formando unas cámaras entre rotor y carcasa, que se llenan con el aire. Al estar situado el rotor en una posición excéntrica al eje central de la carcasa, las cámaras van creciendo en la zona de aspiración, llegando a producir una depresión que provoca la entrada del aire. Según se desplazan con el giro del rotor, las cámaras se van reduciendo hacia la zona de impulsión, comprimiendo el aire en el interior. (Mundo Compresor, 2018).

### 2.1.1.6 Compresor de tornillo

La tecnología de los compresores de tornillo se basa en el desplazamiento del aire, a través de las cámaras que se crean con el giro simultáneo y en sentido contrario, de dos tornillos, uno macho y otro hembra. Como se puede ver en el esquema, el aire llena los espacios creados entre ambos tornillos, aumentando la presión según se va reduciendo el volumen en las citadas cámaras. (Mundo Compresor, 2018).

El sentido del desplazamiento del aire es lineal, desde el lado de aspiración hasta el lado de presión, donde se encuentra la tobera de salida. En la figura 2.7, se muestra la sección de un conjunto rotórico, donde se pueden apreciar los tornillos en el interior de la carcasa.



Figura 2. 7 Compresor de Tornillo

Fuente: (Mundo Compresor, 2018)

Este tipo de compresor se fabrica en dos ejecuciones diferentes, compresores de tornillo lubricado y compresores de tornillo exento. La diferencia entre ambos estriba en el sistema de lubricación.

En el compresor de tornillo lubricado, se inyecta aceite en los rotores para lubricar, sellar y refrigerar el conjunto rotórico. Véase en la figura 2.8 un compresor de tornillo tipo lubricado en operación.

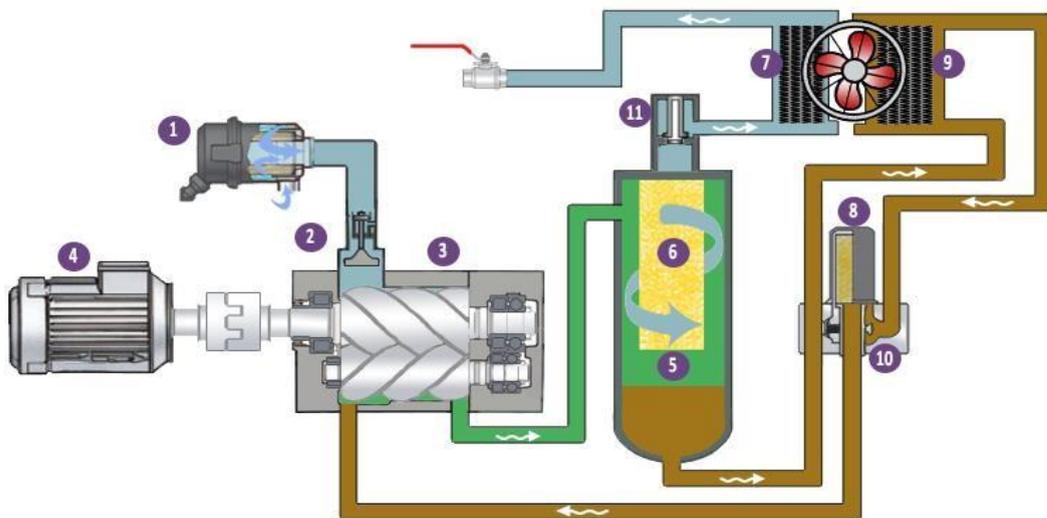


Figura 2. 8 Funcionamiento de compresor de tornillo lubricado

Fuente: (Mundo Compresor, 2018)

Este tipo de compresor es el más habitual en la industria, debido a que, en la mayoría de las aplicaciones, el residual de aceite que queda en la línea de aire comprimido no es un obstáculo para el proceso.

El conjunto formado por los rotores y el motor de accionamiento (elementos 3 y 4 del esquema de la figura 2.8) forman la base del compresor, independientemente

de que dicho accionamiento sea con un motor eléctrico, de combustión, hidráulico, etc. (Mundo Compresor, 2018)

El aire es aspirado por el compresor a través de la válvula (2) y el filtro (1), entrando en el tornillo (3) por la zona de aspiración. Una vez en su interior, el aire circula a través de los dos tornillos y es comprimido sobre el recipiente de separación aire/aceite (5). Siguiendo con el esquema, se puede observar que en el interior de este recipiente receptor (5), el aire comprimido entra forzado a realizar un giro brusco, con la idea de conseguir que se desprenda de la mayor cantidad de aceite posible. Para mejorar la eficiencia de esa separación, el aire comprimido sale al exterior a través de un filtro separador con propiedades coalescentes (6), que elimina el resto de aceite en la corriente de aire hasta un residual muy pequeño (inferior a 3 ppm, según cada fabricante). (Mundo Compresor, 2018).

Una de las características del proceso de compresión es la generación de calor. Evidentemente, el aire no se puede entregar al sistema según sale del tornillo debido a su alta temperatura, que puede oscilar alrededor de los 100 °C. Por esa razón, los compresores van equipados con unos intercambiadores de calor (7) con los que bajan la temperatura del aire comprimido a la adecuada para su uso seguro. Estos intercambiadores pueden ser Aire/Aire o Aire/Agua.

Antes de llegar el aire comprimido al intercambiador, pasa por la válvula de retención y mínima presión (11). Esta válvula tiene una doble misión. Por un lado mantiene la presión interna del circuito de aire a los valores mínimos especificados por el fabricante y por otro, evita el retroceso de aire desde la red.

La lubricación de estos compresores se realiza con un aceite especialmente formulado para este trabajo. Una vez separado el aceite en el recipiente (5), es conducido por un circuito cerrado que incluye un sistema de filtrado (8) para eliminar las impurezas que ha podido recoger del aire, y un refrigerador (9) para reducir su temperatura. Una vez limpio y a la temperatura adecuada, el aceite es inyectado nuevamente en el tornillo.

Pero el aceite de estos compresores no debe estar frío ni excesivamente caliente. Por ese motivo, dentro del circuito de lubricación, una válvula termostática (10)

determina si el aceite fluye hacia el refrigerador o retorna directamente al tornillo, en función de la temperatura. (Mundo Compressor, 2018).

El aceite de lubricación de este tipo de compresores es un elemento vital para el funcionamiento y rendimiento de los mismos. Es aconsejable usar un aceite adecuado, debido a que en el compresor se utiliza para diferentes funciones:

- 1- Lubricar. El aceite se utiliza para lubricar los tornillos y los rodamientos.
- 2- Sellar. Es muy importante que la mínima tolerancia existente entre los rotores quede sellada con el propio aceite de lubricación y evite la pérdida de eficiencia del conjunto.
- 3- Enfriar. El aceite inyectado es el fluido refrigerante con el cual se evacua el calor de compresión. (Mundo Compressor, 2018)

#### **2.1.1.7 Turbocompresor radial**

Este compresor funciona como una turbina de tres etapas, es decir la presión va aumentando en cada una de las etapas. Se recomienda utilizar este compresor cuando es necesario caudales grandes. En la Figura 2.9 se aprecia un Turbocompresor Radial (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

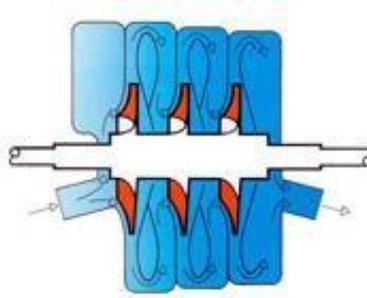


Figura 2. 9 Turbocompresor Radial

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

#### **2.1.1.8 Turbocompresor axial**

Este compresor funciona bajo el principio del ventilador, es decir el aire es aspirado y a la vez es impulsado. La presión que es generada es muy baja, pero ofrece caudales elevados. En la Figura 2.10 se aprecia un Turbocompresor axial (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

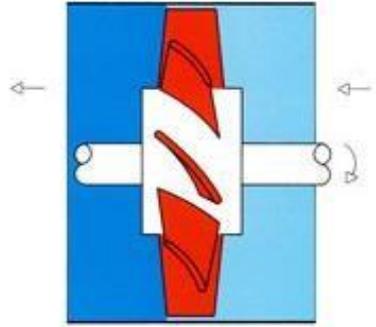


Figura 2. 10 Turbocompresor axial

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

### 2.1.2 Filtro

El filtro en un sistema neumático es importante ya que impide el paso del polvo y otras partículas por la instalación. Otra de sus funciones es condensar el vapor de agua que existe en el aire, este es evacuado por el tornillo de purga cuando alcanza la cota de nivel adecuado. En la Figura 2.11 se encuentra el esquema interno de un filtro (Educativa, Producción del aire comprimido, 2006) (Arce, 2012)

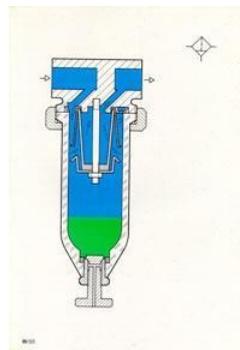


Figura 2. 11 Esquema interno de un Filtro

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

Dentro del Filtro está el cartucho filtrante que retiene las partículas más finas que se encuentran en el aire, este cartucho debe sustituirse con frecuencia.

#### 2.1.2.1 Regulador de presión

El regulador de presión cumple la función de ajustar la presión del sistema al valor deseado; en caso de que el aire comprimido supere la presión establecida el aire escapa a la atmósfera y se estabiliza al valor deseado.



Figura 2. 12 Regulador de presión

Fuente: (Disumtec, 2012)

### 2.1.2.2 Lubricador

En los sistemas neumáticos es necesario que el aire contenga una fina neblina de aceite, con el fin de que todas las piezas móviles del mismo se mantengan lubricadas, así se disminuye el rozamiento y el desgaste.

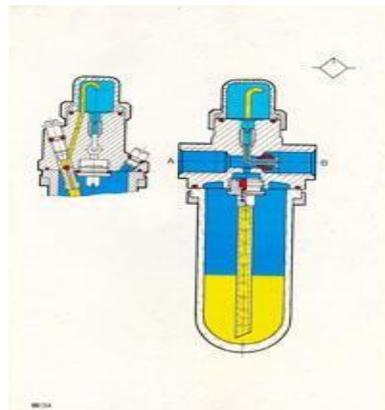


Figura 2. 13 Vista Interna de un filtro con lubricador.

(Educativa, Producción del aire comprimido, 2006)

### 2.1.3 Actuadores Neumáticos

Los actuadores neumáticos son sistemas que contienen un cilindro neumático que van acompañados de elementos mecánicos, que permiten el movimiento de equipos. Pues, existen dos tipos de actuadores, los que realizan un movimiento lineal (cilindros) y los que realizan movimientos rotativos (motores). (Centralair, 2013) (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013). En la figura 2.14 se puede apreciar un actuador neumático.

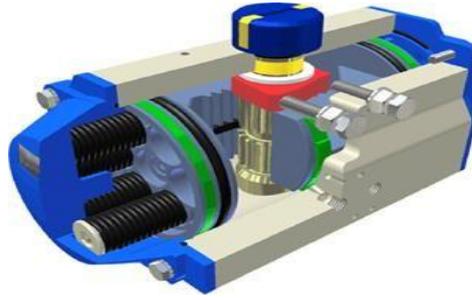


Figura 2. 14 Vista Interna de un Actuador Neumático Air Torque

Fuente: (Sigaltec, 2015)

### 2.1.3.1 Características de Actuadores Neumáticos

En la tabla 2.1 se muestra los detalles de materiales y de accesorios de los actuadores neumáticos.

Tabla 2. 1 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.
Circuito 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)

### 2.1.3.2 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)

#### 2.1.3.2.1 Actuadores Lineales

##### □ Cilindro de simple efecto de émbolo

Este cilindro está compuesto por un resorte que sirve para recuperar la posición inicial, un émbolo que al suministrarle el aire comprimido modifica su posición. La longitud del muelle de los cilindros que se utilizan es de hasta 100mm de carreras.

En la Figura 15 se muestra un cilindro de simple efecto de émbolo (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

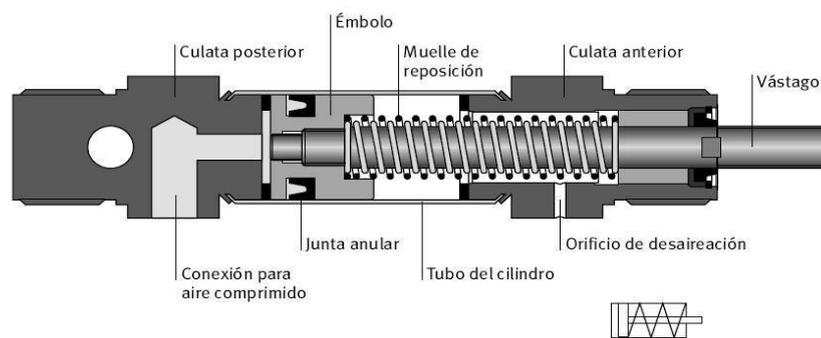


Figura 2. 15 Cilindro de simple efecto

Fuente (Industrial, 2010)

□ **Cilindro de simple efecto de membrana**

En este cilindro el émbolo es reemplazado por una membrana de goma. La placa de sujeción asume la función del vástago y está unida a la membrana, el retroceso es realizado por la tensión interna que ejerce la membrana. Estos cilindros solo realizan carreras cortas, por tal motivo son utilizados para remachar, estampar y sujetar. En la figura 2.16 se muestra un diagrama del cilindro de simple efecto de membrana.

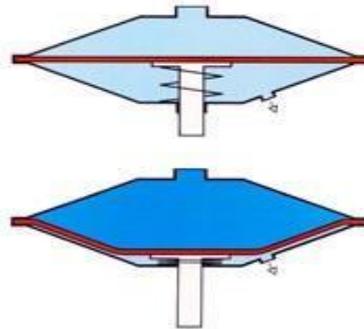


Figura 2. 16 Cilindro de simple efecto de membrana

Fuente: (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

□ **Cilindro de simple efecto de membrana arrollable**

La membrana de este cilindro tiene forma de vaso, cuando el aire comprimido ingresa la membrana se expande dentro del cilindro. La ventaja de la misma es que presenta muy poco rozamiento, pero son de carrera muy corta. En la Figura 2.17 se muestra el funcionamiento de un cilindro de simple efecto de membrana arrollable (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

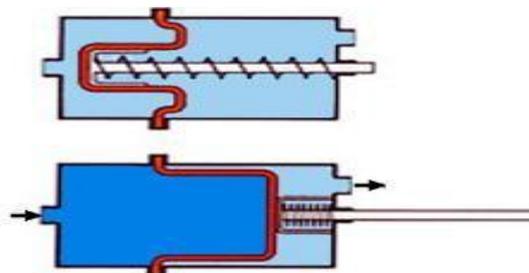


Figura 2. 17 Operación de cilindro simple efecto

Fuente: (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

□ **Cilindro de doble efecto**

Este cilindro recibe aire comprimido por una cámara, purgándose el lado contrario, lo que hace que el vástago cambie de posición. Cuando el aire cambia de dirección y se intercambian las cámaras de llenado y de evacuación el vástago recupera la posición inicial. En la figura 2.18 se muestran sus partes (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013).

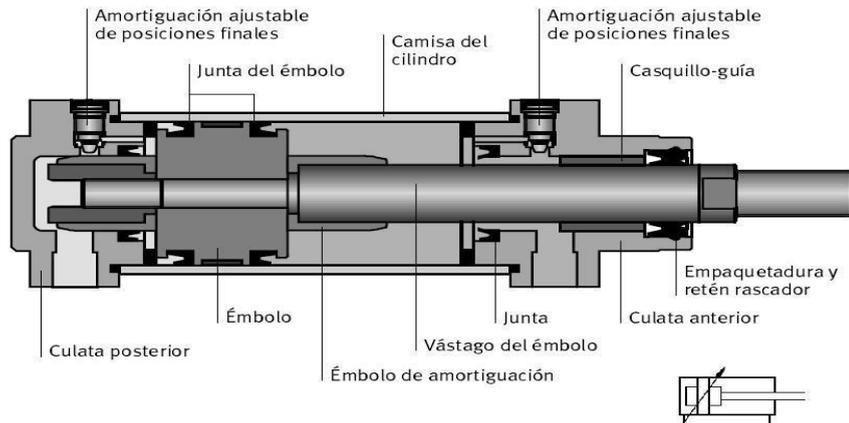


Figura 2. 18 Partes de un Cilindro de Doble Efecto

Fuente: (Industrial, 2010)

□ **Cilindro giratorio**

Con este cilindro se obtienen movimientos de 300° en adelante, posee poca capacidad para desarrollar alguna aplicación, no son muy aplicados en la industria.

En la figura 2.19 se encuentra un esquema de un cilindro giratorio (Educativa, Actuadores Neumáticos,2013)

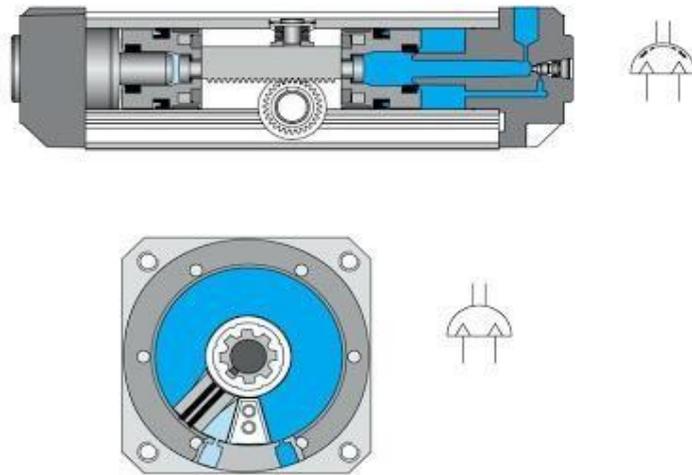


Figura 2. 19 Esquema de un cilindro giratorio

Fuente: (Industrial, 2010)

□ **Cilindro telescópico**

Este cilindro está formado por tubos cilíndricos y vástago de émbolo. Primero sale émbolo interior, seguido por el vástago. La fuerza que se aplique está determinada por la superficie del émbolo menor. Son empleados donde se necesitan importantes longitudes de elevación con una base cilíndrica de dimensiones pequeñas. En la figura 2.20 se puede apreciar un cilindro telescópico de 3 extensiones. (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)



Figura 2. 20 Cilindro Telescópico de 3 extensiones

Fuente: (Disumtec, 2012)

□ **Cilindro de doble vástago**

Este tipo de cilindros tienen vástagos en ambos lados, en este caso la fuerza desarrollada es la misma para los dos vástagos, pueden soportar ligeros

esfuerzos laterales. En la Figura 2.21 se aprecia la vista interior de un cilindro de doble vástago (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

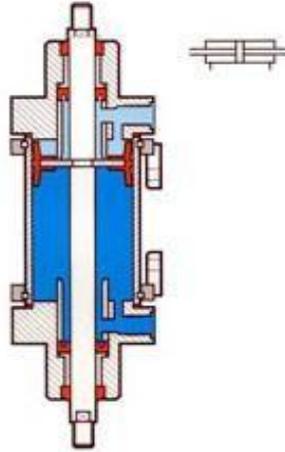


Figura 2. 21 Vista Interior de un Cilindro de doble vástago

Fuente: (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

#### □ Cilindros sin Vástago

A los cilindros sin vástago se le aplica aire a presión alternativamente por ambos lados. El cilindro puede trabajar en ambos sentidos produciendo una fuerza de trabajo idéntica para ambos lados. Son menos largos (si se comparan con los cilindros estándar de doble efecto) y funcionan totalmente guiados, por lo que no existe peligro de que el vástago pueda torcerse. Además, el movimiento se efectúa en toda la longitud de la carrera, pudiendo llegar a alcanzarse carreras de hasta 10 m de largo.

En la figura 2.22 se aprecia la vista interna de un cilindro sin vástago (Industrial, 2010)

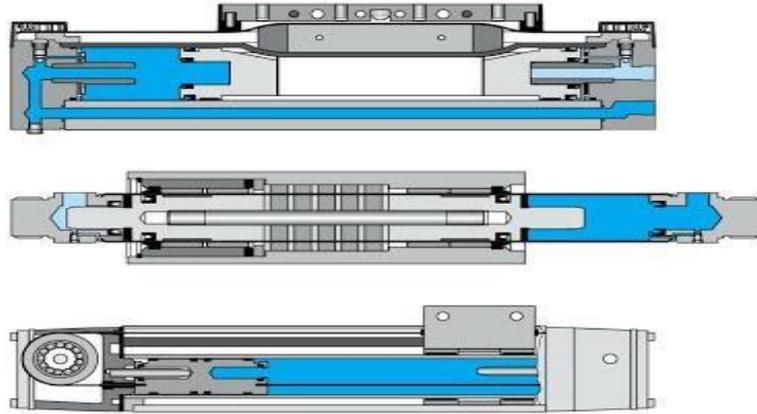


Figura 2. 22 Vista interna de un cilindro sin vástago

Fuente: (Industrial, 2010)

### 2.1.3.2.2 Actuadores de Movimiento Rotativo

#### □ Motor de émbolo radial

Este motor funciona con cilindros de movimiento alternativo, el aire comprimido acciona a la biela que a su vez activa el cigüeñal del motor. La potencia depende de la alimentación, del número de émbolos y de la superficie. En la figura 2.23 se observa un motor de émbolo radial (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

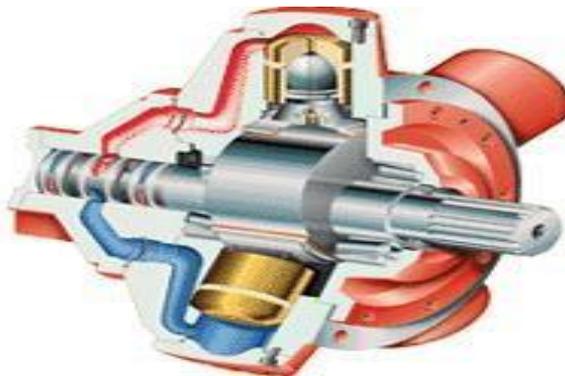


Figura 2. 23 Motor de émbolo radial

Fuente: (Industrial, 2010)

#### □ Motor de aletas

Está compuesto por un rotor provisto de ranuras repartidas de forma igualitaria, entre ellas se deslizan una de las aletas abatibles que son empujadas hacia la pared interior del motor.

Estos motores alcanzan velocidades entre 3000 y 9000 r.p.m y potencias de hasta 25 CV. En la figura 2.24 se aprecia la vista interna de un motor de aletas. (Educativa, Actuadores Neumáticos, 2013)

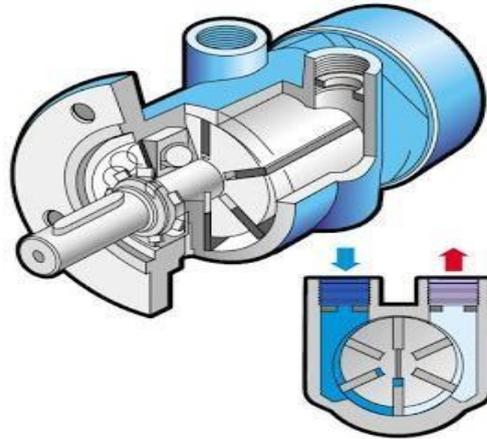


Figura 2. 24 Vista interna de un motor de aletas

Fuente. (Industrial, 2010)

En la tabla 2.2 se muestra un resumen detallada de características de los actuadores neumáticos, utilizados en la industria

Tabla 2. 2 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 Actuadores lineales con y sin sistema de medición de recorrido Unidades de medición para los actuadores lineales</p>

Fuente. (Festo, 2013)

A continuación, en la figura 2.25 se puede observar un esquema del funcionamiento de un sistema neumático.

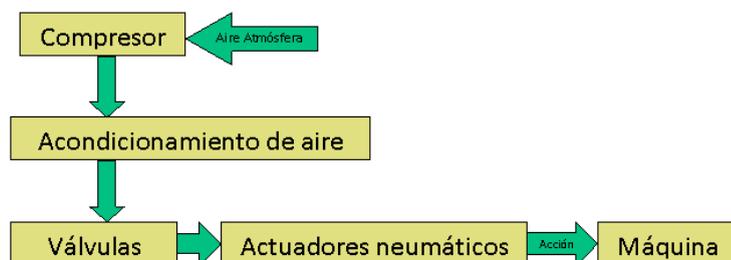


Figura 2. 25 Esquema del funcionamiento de un sistema neumático

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

### 2.1.4 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 2.26 se observa el diseño de una red de distribución.

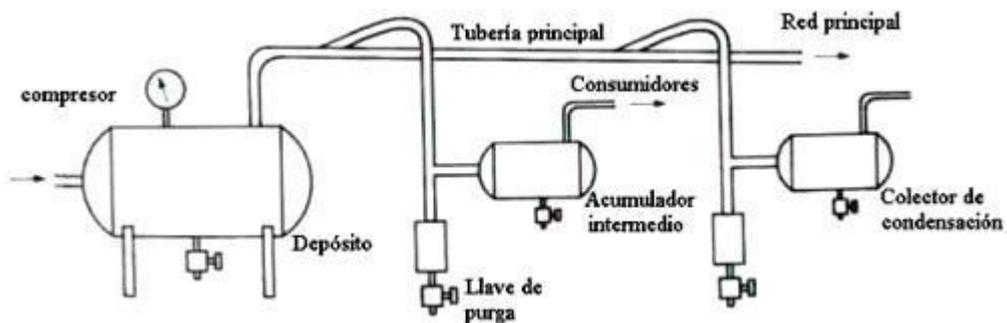


Figura 2. 26 Diseño de una red de distribución

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

## 2.2 Tratamiento del Aire Comprimido

El aire comprimido no es limpio debido a que presenta impurezas tanto líquidas y sólidas, que se deben al aceite procedente del compresor y condensadores de vapor de agua, por tal motivo es necesaria su eliminación. Las impurezas sólidas que se generan son por el polvo aspirado y partículas desprendidas de la instalación por efectos de oxidación. (Automatización Industrial, 2010), (Estrucplan, 2012)

Para el tratamiento del aire comprimido existen varios elementos que pueden ser utilizados como: el depósito acumulador, Secador, Filtro, Regulador de Presión y Lubricador. (Estrucplan, 2012)

La siguiente tabla 2.3 muestra el punto de rocío del aire a presión atmosférica con diferentes temperaturas. En los casos en que sea necesario utilizar aire comprimido muy depurado y el sistema de purgas de agua no sea suficiente, se emplean sistemas especiales de secado con los que es posible reducir el contenido de agua en el aire hasta  $0.001 \text{ gr/m}^3$ . (Estrucplan, 2012).

Tabla 2. 3 Punto de Condensación

Temperatura °C	$\text{g/m}_n^3$ (estándar)	$\text{g/m}_n^3$ (atmosférico)
-40	0,15	0,18
-35	0,25	0,29
-30	0,40	0,45
-25	0,64	0,70
-20	1,00	1,08
-15	1,52	1,61
-10	2,28	2,37

<b>-5</b>	3,36	3,42
<b>0</b>	4,98	4,98
<b>5</b>	6,99	6,86
<b>10</b>	9,86	9,51
<b>15</b>	13,76	13,04
<b>20</b>	18,99	17,69
<b>25</b>	25,94	23,76
<b>30</b>	35,12	31,64
<b>35</b>	47,19	41,83
<b>40</b>	63,03	54,108

Fuente. Estructplan, 2012

### **2.2.1 Secador**

El secador es uno de los elementos más importantes en el tratamiento del aire comprimido. Este se encarga de eliminar la humedad del aire, de lo contrario aumentaría el desgaste de las máquinas, reduciendo su vida útil y rendimiento de la instalación. También aumenta el costo de producción. Los métodos más comunes de secado son:

- Absorción
- Adsorción
- Secado por frío

#### **2.2.1.1 Secado por absorción**

Este proceso de secado es muy utilizado en instalaciones de bajo consumo de aire. El elemento está formado por un depósito que contiene una sustancia higroscópica, por la cual circula el aire comprimido. El vapor de agua que se genera forma una emulsión agua-sal, que se va licuando hasta la parte más baja del depósito y es purgado a través de una válvula. Por tanto, la sustancia higroscópica se va agotando, por lo que es recomendable una reposición periódica. Sin embargo, a la salida de este elemento es necesario colocar un filtro.

En la figura 2.27 se puede ver un secado por absorción.

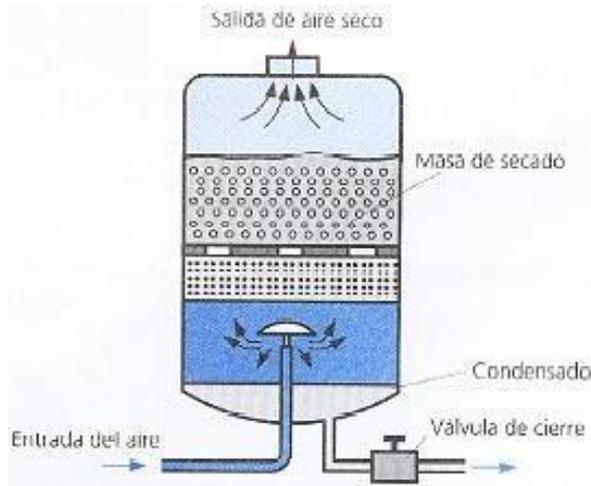


Figura 2. 27 Secado por absorción.

Fuente: (Estrucplan, 2012)

### 2.2.1.2 Secado por absorción

Por medio de este tipo de secado se puede fijar las moléculas de agua a las paredes de un elemento poroso, compuesto por dióxido de silicio. Por tanto, la misma necesita dos depósitos, debido a que el elemento absorbente se satura. En tanto, mientras uno de los dos depósitos está activo el otro está en un proceso de secado por medio de aire caliente.

En este tipo de secado, no puede entrar aceite, puesto que se obturarían los capilares del elemento poroso y sería imposible su regeneración. Por tanto, es indispensable colocar en la entrada del equipo un desoleador. El elemento adsorbente se renueva cada dos años aproximadamente.

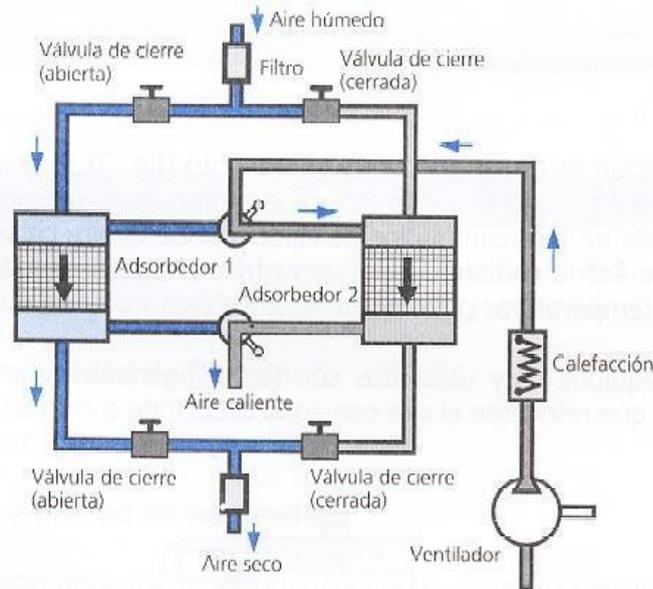


Figura 2. 28 Secado por adsorción

Fuente: (Estrucplan, 2012)

### 2.2.1.3 Secado en frío

A través de este método se puede separar el agua mediante el frío. El aire entra en el equipo a través de un intercambiador de calor, en el cual es pre-enfriado por el aire que sale de una instalación frigorífica. En esta cámara, el aire es enfriado hasta una temperatura de 2°C, pero teniendo las debidas precauciones puesto que si se baja de esa temperatura se pueden congelar los condensados. Pues, a la salida del frigorífico se instala un separador que evacua los condensados al exterior a través de una purga automática. Al igual que en el secado por absorción se necesitará poner un filtro a la salida del separador para retener el aceite, aprovechando el aumento de viscosidad debido a la baja temperatura. El aire seco y filtrado entra en el secundario del intercambiador, donde es calentado por el aire entrante. En la figura 2.29 se observa un secado en frío.

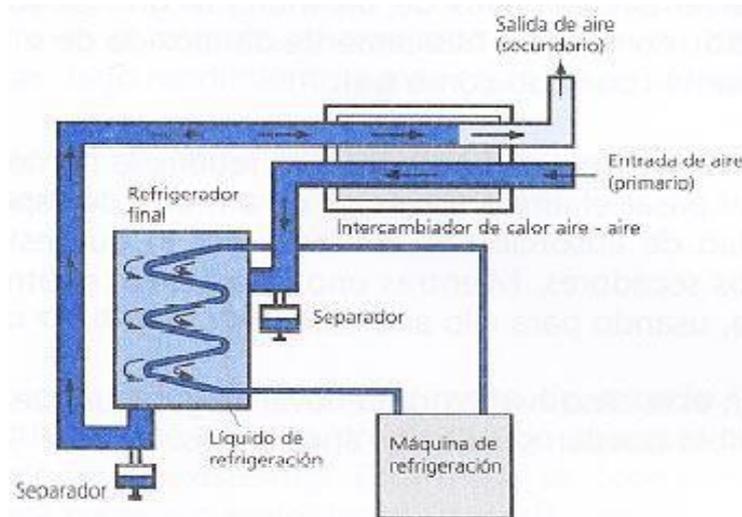


Figura 2. 29 Secado en Frio

Fuente: (Estrucplan, 2012)

### 2.2.2 Filtro de Aire

Este elemento es el encargado de eliminar impurezas del aire. Tales impurezas pueden ser partículas sólidas, que vienen del exterior y son tomadas durante la fase de aspiración, también se pueden generar por desprendimiento de partículas metálicas de la propia red. Las partículas líquidas, agua y aceite, que aún queden en la instalación. Ver figura 2.30.

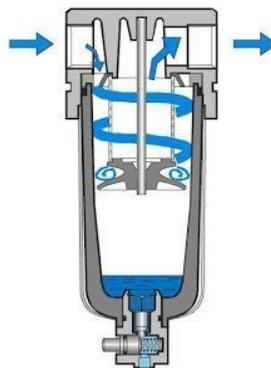


Figura 2. 30 Filtro

Fuente: (Automatización Industrial, 2010)

El filtro estándar consta de un recipiente en el que entra el aire y pasa a través de una placa deflectora, con ranuras oblicuas. Esta placa desvía el aire y provoca su centrifugado. Las partículas sólidas se desprenden al chocar contra las paredes del

vaso y caen al fondo. A continuación, el aire pasa a través de un filtro con una porosidad entre 5 y 45 micras, según el grado de filtrado que se precise.

### 2.2.3 Regulador de Presión

El regulador reduce la presión en la red a una presión de trabajo adecuada a la máquina, equipo o herramienta utilizada. Además, minimiza las oscilaciones de presión que surgen en la red. En la figura 2.31 se puede ver un regulador.

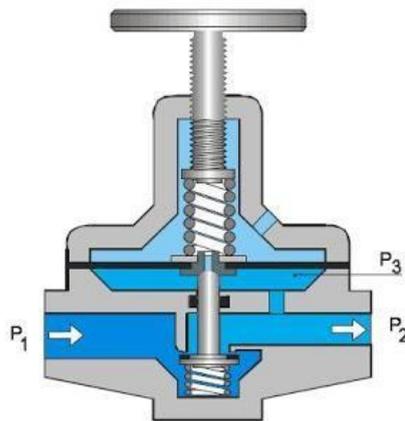


Figura 2. 31 Regulador.

Fuente: (Automatización Industrial, 2010)

En un regulador estándar, la presión de salida se obtiene regulando el tornillo del resorte, para mantener abierta la válvula principal, permitiendo de esa manera fluir desde la vía de entrada el aire a presión  $P_1$ , a la salida a presión  $P_2$ , equilibrando la presión de salida mediante un émbolo o diafragma contra la fuerza regulable del resorte.

Cuando el circuito conectado a la salida se encuentra a la presión preestablecida, actúa sobre el diafragma creando una fuerza elevadora contra la carga del resorte.

Si la presión de salida sube por encima del valor regulado, el diafragma se eleva para abrir el asiento de alivio, de forma que la presión en exceso pueda ser evacuada por el orificio de escape.

### 2.2.4 Lubricador

En la actualidad, la lubricación no es estrictamente primordial e indispensable, ya que los componentes neumáticos modernos vienen pre-lubricados para toda la

vida. Esto implica mayor limpieza (industria alimentaria, farmacéutica) y menos contaminación del ambiente de trabajo. Pero en equipos neumáticos que trabajen en condiciones exigentes, las piezas móviles necesitan lubricación para que estén suficientemente lubricadas de forma continua, se añade al aire comprimido una cierta cantidad de aceite mediante un lubricador. Con la lubricación, se reduce el desgaste, se disminuyen las pérdidas por rozamiento y se consigue protección contra la corrosión. En la figura 2.32 se puede apreciar un lubricador.

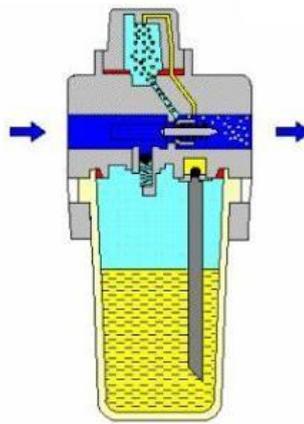


Figura 2. 32 Lubricador

Fuente: (Automatización Industrial, 2010)

El lubricador proporcional, mediante una estrangulación del canal de paso de aire, origina una caída de presión. En la cámara goteo se produce un efecto de aspiración, propiciando que las gotas de aceite entren en la corriente de aire. Allí se nebulizan y de esta forma llegan a los diferentes elementos. La cantidad de aceite aportada se regula mediante un tornillo.

### **2.2.5 Unidad de Mantenimiento (FRL)**

La unidad de mantenimiento está formada por el filtro, el regulador y el lubricador. Esta unidad de mantenimiento, que realiza las funciones antes descritas en cada elemento, se sitúa justo en la entrada de aire de la máquina. La unidad de mantenimiento deberá montarse siempre en ese orden, siguiendo la circulación del aire. Véase la figura 2.33.

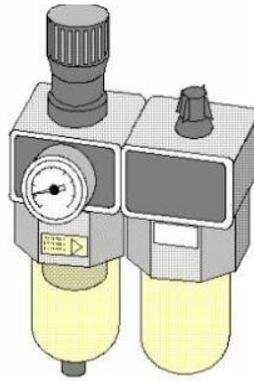


Figura 2. 33 Unidad de Mantenimiento

Fuente: (Automatización Industrial, 2010)

## 2.3 Generación de vacío

### 2.3.1 Definición de Vacío

Se puede definir al vacío, como el estado de un gas en el cual la densidad de sus partículas es inferior a la de la atmósfera. En neumática, el vacío siempre se indica con un valor negativo, teniendo como unidad de medida el *bar* o el *milibar* (mbar) (1 bar = 1000 mbar) que es derivada de la unidad de Pascal (Pa). (Festo G. , 2010)

### 2.3.2 Generador de Vacío

Los generadores de vacío crean el vacío que los sistemas de aire comprimido requieren para los procesos de manipulación. El vacío se puede generar de dos formas, neumáticamente o eléctricamente. Los generadores de vacío neumáticos trabajan en tiempos de ciclo cortos y debido a que su diseño es resistente y ligero se pueden incorporar directamente en el sistema. Los generadores de vacío eléctricos se utilizan en aplicaciones en las que no se dispone de aire comprimido o en las que sea necesario altas potencias de aspiración.

Los generadores de vacío neumáticos se clasifican en:

- Eyectores
- Unidades de bombas (con eyector, monitorización y regulación)

Los generadores de vacío eléctricos se clasifican en:

- Bombas
- Soplantes

El volumen de aspiración nominal de todos los generadores de vacío se indica en l/min o en m<sup>3</sup>/h. Estos valores se refieren a una presión ambiental de 1.013 mbar a nivel del mar y a una temperatura ambiente de 20°C. El volumen de aspiración máxima define por tanto el flujo que el generador de vacío aspira del entorno. (SCHMALZ, 2013)

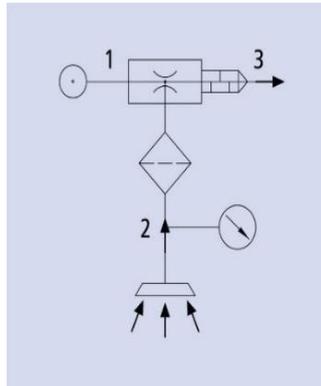


Figura 2. 34 Aspiración libre.

Fuente: (SCHMALZ, 2013)

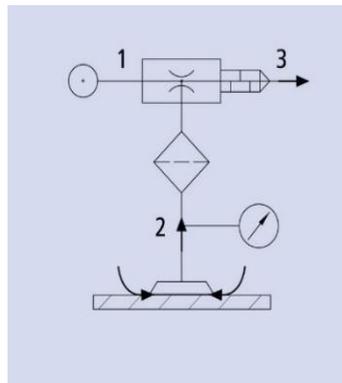


Figura 2. 35 Aspiración posterior con la pieza.

Fuente: (SCHMALZ, 2013.)

### 2.3.3 Generación de vacío

En la industria es muy común el uso de generadores de vacío, que funcionan a través del principio de Venturi. En la figura 2.36 se puede observar un generador de vacío venturi.

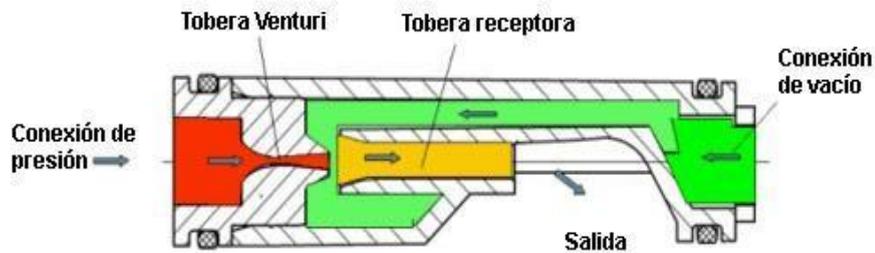


Figura 2. 36 Generador de vacío Venturi.

Fuente: (Festo G. , 2015)

En este tipo de generadores, el aire comprimido fluye desde la conexión de presión hacia el eyector. Mediante la reducción de la sección en la tobera Venturi se incrementa la velocidad del aire, llegando a tener la misma velocidad del sonido o sobrepasarla (Mach 1, Mach 2, etc.). Tras pasar por la tobera, el aire comprimido se expande y hace su recorrido a través de la tobera receptora hasta llegar a la salida, como se muestra en la figura 2.36. Esto produce un vacío en la cámara situada entre la tobera Venturi y la tobera receptora, lo que provoca que el aire sea aspirado desde la conexión de vacío. Por tanto, el aire aspirado y el aire de escape salen juntos a través de la salida.

Esta salida también es conocida como silenciador. Existen dos tipos de silenciadores, los cerrados y los abiertos. Los más recomendados son los de tipo abierto debido a su fiabilidad, funcionamiento seguro y no requieren mantenimiento.

Este tipo de generadores son utilizados para agarrar piezas por vacío sin que sea necesario disponer de una bomba de vacío, una ventaja de este tipo de generadores es que no necesitan un constante mantenimiento, además de que pueden operar en un amplio margen de temperatura. También se puede destacar su ligereza los que hace que sean fáciles de transportar y montar en cualquier sitio. A pesar de que no necesiten un constante mantenimiento hay que tener en cuenta que no ocurran taponamientos en los silenciadores ya que pueden perder efectividad.

Debido a que el aire comprimido es un tipo de energía sumamente costoso, no es recomendable generar vacío para muchas de las aplicaciones en la industria. Pero los fabricantes se decantan por este método debido a que es mucho más económico que generar vacío con una bomba de vacío eléctrica.

Por ejemplo, un generador de un fabricante alemán con conexión G1/4 de entrada y su tobera de 1.5mm de diámetro rinde alrededor del 70% absorbiendo 69 Lts/min con un nivel de vacío del 85% y consumen 102 de aire a 6 bar, lo cual es sumamente costoso.

El gasto de aire se lo puede definir como el producto de la sección por la que fluye el fluido y la velocidad de este. En dinámica de fluidos se utiliza una ecuación que nos garantiza que, en ausencia de fuentes o sumideros el caudal será constante.

Como consecuencia directa del caudal y la ecuación de Bernoulli tenemos un tubo de Venturi con una conexión de entrada de sección  $S_1$  por la que va el fluido y que en una parte se estrecha  $S_2$ , teniendo una sección 2 menos que la 1,  $S_2 < S_1$ . (Cassani, 2014)

Debido a que el caudal se conserva entonces nos da que la velocidad debe aumentar resultando  $V_2 > V_1$ , por lo que (2) es:

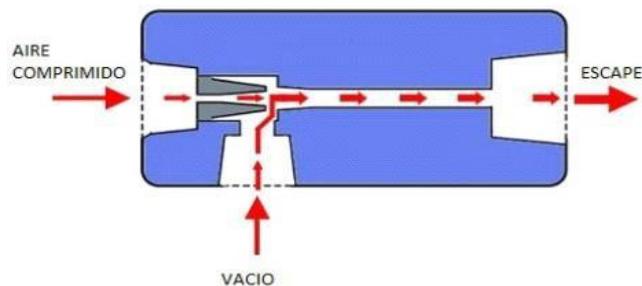


Figura 2. 37 Tubo Venturi.

Fuente: (Cassani, 2014)

Ecuación de Bernoulli

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2$$

(2)

Donde:

- \* P: Es la presión estática a la que está sometido el fluido, debida a las moléculas que lo rodean
- \*  $\rho$  : es la densidad del fluido.
- \* v: Velocidad de flujo del fluido.

- \*  $g$ : Valor de la aceleración de la gravedad.
- \*  $h$ : Altura sobre un nivel de referencia.

Si las alturas  $h_1$  y  $h_2$  son similares, existirá un estrechamiento en el tubo lo que da como resultado que la presión estática del líquido disminuye en dicho estrechamiento. Esto genera una depresión que succiona el aire hacia el interior del tubo. Por medio de ese efecto se puede succionar objetos por medio de ventosas.

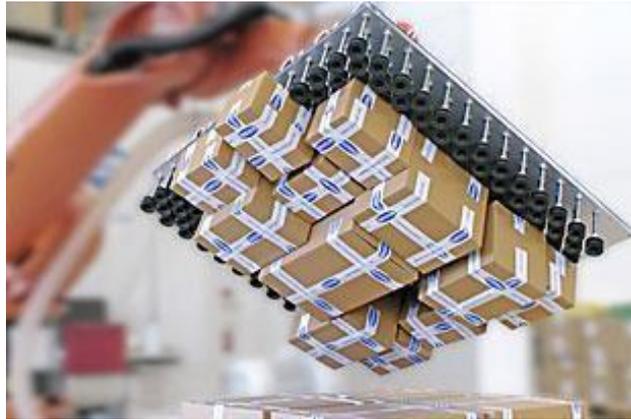


Figura 2. 38 Succión por ventosas.

Fuente: (Cassani, 2014)



Figura 2. 39 Succión por ventosas.

Fuente: (Cassani, 2014)

En los generadores de vacío hay que tomar ciertas precauciones. Por ejemplo, si se utiliza un aire que está lubricado, este puede mermar el rendimiento del equipo debido a que se acumularían partículas de polvo y suciedad. Otro efecto a tomar en cuenta es los cambios de presión en el aire ya que este puede reducir la fuerza de separación alcanzable de unas pinzas por vacío. (Festo , 2013)

El mismo generador de vacío y la misma ventosa con rosca de fijación obtienen, con una diferencia de altura de 2000 m:

Tabla 2. 4 Cambios en la presión del aire.

Altura	Presión de aire	Vacío	Presión absoluta	Presión diferencial con respecto a la atmósfera	Fuerza de separación Diámetro ventosa 50 mm
0 m	1013	70 %	303,9 mbar	709,1 mbar	105,8 N
2000 m	789	70 %	236,7 mbar	552,3 mbar	82,4 N

(Festo G., 2013)

También se debe considerar que el consumo de energía de un generador de vacío es alto, para esto hay una solución la cual es utilizar un economizador de aire, a través de un detector y una válvula de antirretorno, esto sólo generará vacío mientras el sistema permanezca dentro de unos parámetros ajustables, lo cual permite que el sistema se desactive automáticamente ahorrando energía.

Otro problema que se puede presentar es la pérdida de vacío, debido a que una o varias ventosas presentan fugas, para esto se pueden usar las válvulas de retención de vacío ISV, la cual cierra un asiento a partir de un caudal de conmutación y así impide pérdidas de vacío.

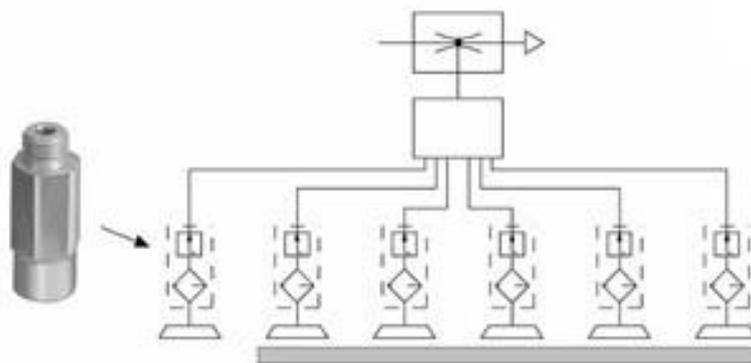


Figura 2. 40 Válvula de retención de vacío ISV.

Fuente: (Festo, 2013)

Por lo tanto, existen dos tipos de generadores de vacío, que son los tipos H y los tipos L. Los tipos H significan alto vacío (*High Vacuum*) y los L significan alto

caudal de aspiración (*Large Flow*). En la figura 2.41 se puede ver generadores tipo H y L.

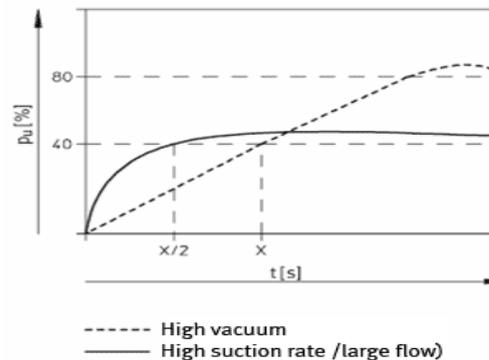


Figura 2. 41 Gráfica de operación de generadores tipo H y L.

Fuente: (Festo, 2013)

Los de tipo H pueden generar un vacío  $> -0,4$  bar, que es adecuado para aplicaciones estándar. En cambio, un tipo L puede generar un alto caudal de aspiración con un nivel de vacío de hasta  $-0.4$  bar. Debido a esto, es el más adecuado para trabajar con piezas porosas. (Festo G., 2013)

Para saber que ventosa hay que utilizar se necesita determinar la fuerza de sujeción, para esto necesitamos el valor de la masa, la aceleración del sistema y el coeficiente de fricción del material. (Festo G., 2013)

Como la fuerza de sujeción depende de la carga a mover, se han determinado tres tipos principales de carga, los cuales son:

- \* Caso 1: ventosa en posición horizontal, movimiento en dirección vertical (caso óptimo)
- \* Caso 2: ventosa en posición horizontal, movimiento en dirección horizontal
- \* Caso 3: ventosa en posición vertical, movimiento en dirección vertical (peor caso)

El peso de la pieza a mecanizar y la aceleración son necesarios para calcular la fuerza de sujeción. (Festo , 2013)

### **Caso 1**

Ventosa en posición horizontal, movimiento en dirección vertical (caso óptimo)

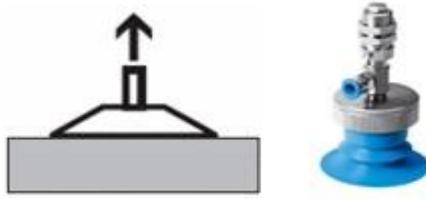


Figura 2. 42 Ventosa en posición horizontal, movimiento vertical y ejemplo de ventosa de sujeción de vacío, redonda.

Fuente: (Festo G., 2013)

$$F_H = m \times (g + a) \times S \quad (3)$$

### Caso 2

Ventosa en posición horizontal, movimiento en dirección horizontal

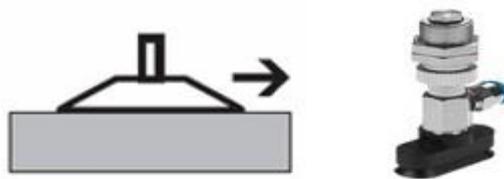


Figura 2. 43 Ventosa en posición horizontal, movimiento horizontal y ejemplo de ventosa de sujeción de vacío, oval.

Fuente: (Festo, 2013)

$$F_H = m \times \left( \frac{g+a}{\mu} \right) \times S \quad (4)$$

### Caso 3

Ventosa en posición vertical, movimiento en dirección horizontal (peor caso)



Figura 2. 44 Ventosa en posición vertical, movimiento horizontal y ejemplo de ventosa de fuelle.

Fuente: (Festo, 2013)

$$F_H = \left( \frac{m}{\mu} \right) \times (g + a) \times S \quad (5)$$

Donde:

FH = Fuerza de sujeción teórica de la pinza por vacío (N)

m = Masa (kg)

g = Aceleración terrestre (9,81 m/s<sup>2</sup>)

a = Aceleración del equipo (m/s<sup>2</sup>)

Para el diseño de una aplicación de vacío se deben tomar en cuenta las siguientes características que debe poseer la pieza a mecanizar.

- Peso
- Porosidad (pieza porosa o hermética)
- Superficie (lisa/rugosa)

El diámetro de los tubos cuando se usan toberas de aspiración, se muestra en la tabla 2.5

Tabla 2. 5 Diámetro de tubos.

Generador de vacío	Toma de alimentación Diámetro exterior del tubo flexible	Conexión de vacío Gran caudal Diámetro exterior del tubo flexible	Conexión de vacío Alto nivel de vacío Diámetro exterior del tubo flexible
VN-05	4	4	4
VN-07	4	6	4
VN-10	4	6	6
VN-14	6	8	6
VN-20	6	12	8
VN-30	10	16	12

(Festo, 2013)

A continuación, se muestra el material de las ventosas con rosca de fijación.

Material de la ventosa		Margen de temperatura	Resistencia al desgaste	Pieza
Caucho nitrílico		-10...+70°C	++	Aceitado y liso 
Poliuretano		-20...+60°C	+++	Aceitado, liso y rugoso 
Silicona		-30...+180°C	+	Alimento, caliente y frío 
Caucho fluorado		-10...+200°C	+	Aceitado, liso y caliente 
Caucho nitrílico, antiestático		-10...+70°C	++	Sistema electrónico, aceitado 
Poliuretano, resistente al calor		-20...+60°C	+++	Aceitado y rugoso 

Figura 2. 45 Material de ventosas y aplicación.

Fuente: (Festo., 2013)

## 2.4 Rendimiento y Eficiencia

Para el análisis del sistema de aire comprimido, se establecen mediciones de las variables más relevantes de los compresores a condiciones normales de operación. Para establecer el consumo de potencia eléctrica y la capacidad volumétrica, se debe tener en cuenta el estado del aire a la entrada (presión atmosférica, temperatura y humedad relativa) y a la descarga del sistema de compresión (presión, temperatura y flujo volumétrico entregado). El conocimiento de estos valores, permite establecer el estado real del sistema de aire comprimido, conocer el rendimiento y eficiencia bajo los que opera el sistema. (Velazco & Averza, 2017)

Por tanto, el aire comprimido es una de las formas de energías más caras de obtener por tal motivo hay una gran necesidad de reducir costos, ya sea a través de la reducción del consumo de energía, costos de operación o incrementando la confiabilidad en el sistema. A pesar de lo costoso que puede ser este sistema sigue siendo ampliamente utilizado debido a las ventajas que posee: la seguridad, la ergonomía de las herramientas de trabajo, etc. (Interempresas, 2014), (Cassani, 2010)

En la mayoría de los casos se genera mucho aire comprimido que se desperdicia por las fugas del sistema, esto provoca cuantiosas pérdidas económicas. Debido a

esto se debe realizar un profundo análisis de los factores que pueden optimizar el sistema instalado y conseguir eficiencia energética.

Por ejemplo, en la industria automotriz el aire comprimido se lleva normalmente entre el 9 y 10% de la energía total de la planta. En las industrias alimenticias el valor llega a 13% o más en el caso de existencia de líneas de alta presión (20 o 40 bar). Debido a estas pérdidas es que se necesita del análisis del sistema.

En la industria existen numerosas posibilidades de ahorrar la energía utilizada en relación al aire comprimido. Desde la sala de máquinas hasta el punto de uso del aire comprimido se puede mencionar:

- Mantenimiento de los compresores.
- Sistemas de control y programación de los compresores.
- Recuperación del calor generado por los compresores.
- Optimización de la presión del sistema.
- Tratamiento del aire apropiado (en impurezas y en humedad).
- Problemas con redes de aire mal dimensionadas y dañadas por el paso del tiempo.
- Fugas de aire comprimido.
- Mantenimiento defectuoso de los componentes del sistema.
- Usos inapropiados del aire comprimido.

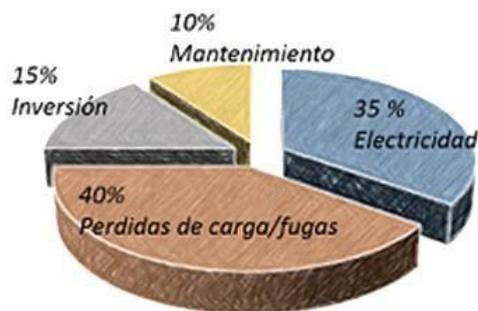


Figura 2. 46 Reparto de costes de una instalación de aire comprimido.

(Interempresas, 2014)

El gráfico muestra el reparto de costes de una instalación de aire comprimido convencional durante su vida útil.

Otro punto importante a tratar para lograr que el sistema de aire comprimido sea eficiente, son las fugas. Este es el principal problema de una instalación de aire comprimido. Por lo general un sistema de aire comprimido pierde alrededor de un 10% de aire con este tipo de problemas (fugas). De por sí la generación de aire comprimido es costosa, al haber fugas en el sistema representa un gasto adicional.

Para lograr la eficiencia es necesario conocer cuánto aire desperdicia el sistema, esto también nos indicará el estado en que se encuentra la instalación. Lo que se debe hacer es comprobar la cantidad de aire que proporciona el compresor cuando la fábrica no está trabajando. Para esto se necesita registrar el flujo volumétrico, la velocidad del caudal y el consumo total de aire comprimido.

Después de determinar cuánto pierde la fábrica económicamente por las fugas de aire comprimido, se procede a detectar el lugar de las fugas.

Para esto hay que tener en cuenta que en una instalación de aire comprimido existen puntos que son más propensos a generar fugas, como lo son: los codos de las tuberías, las conexiones a los filtros, a los secadores, a los depósitos, o cualquier otro sistema que trate la calidad del aire y, sobre todo, las propias máquinas que funcionan con el aire comprimido. Todos estos puntos débiles deben tenerse en cuenta a la hora de realizar un diagnóstico de fugas eficaz.

Una forma muy utilizada para la detección de fugas es utilizando ultrasonidos de manera periódica, con el fin de conocer con cuánta rapidez aparecen o incluso reaparecen las fugas. Si después de tres meses de comprobaciones periódicas hay pocos cambios, entonces pueden realizarse comprobaciones más espaciadas.

Para lograr que la eficiencia energética sea constante, no hay que olvidar que las detecciones deben realizarse durante toda la vida útil de la instalación, como una etapa más de su mantenimiento.

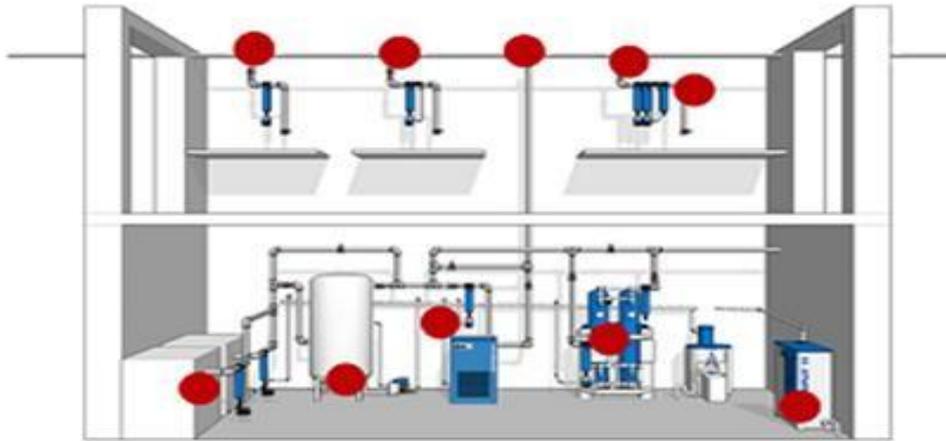


Figura 2. 47 Puntos más susceptibles a las fugas de una instalación de aire comprimido (Interempresas, 2014)

## CAPÍTULO 3

### CRITERIOS PARA INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO

#### 3.1 Sistema de control del 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 las instalaciones del aire comprimido.

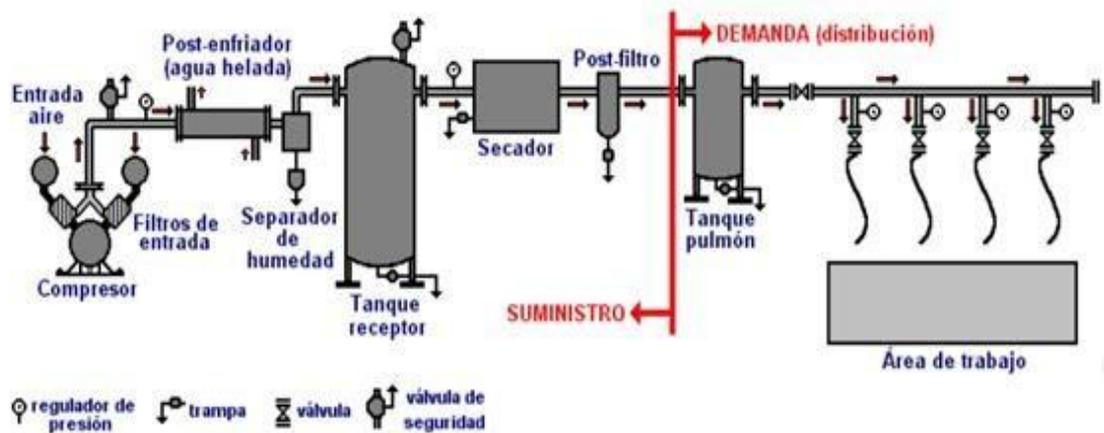


Figura 3. 1 Instalaciones del aire comprimido

Fuente: (Velazco & Averza, 2017)

### 3.3 Banco Didáctico

El laboratorio de Neumática del FETD cuenta con 3 bancos/tableros didácticos, motivo por el cual el diseño que se presentará contará con 4 subsistemas de alimentación, dejando uno extra para la conexión de trabajos implementados en trabajos de titulación y cuyo funcionamiento necesita suministro de aire comprimido.

El banco/tablero tiene dimensiones adecuadas, una estética excelente y la forma de su estructura es apta para todos los estudiantes; además, puedan trabajar en sus dos lados.

#### 3.3.1 Peso de los elementos a colocarse en el tablero

Los elementos que serán colocados en el tablero pesarán aproximadamente 1 Kg.

#### 3.3.2.- Estructura del banco

La estructura del banco está formado por diferentes tipos de perfiles de acero estructural A36 y sus propiedades mecánicas son muy buenas y son fáciles de adquirir en el mercado nacional.

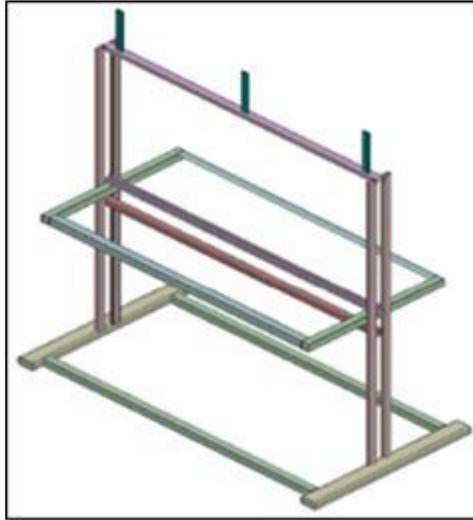


Figura 3. 2 Estructura del banco

Fuente: (Festo, 2013)

La estructura está compuesta por los diferentes perfiles, su base está compuesta por un perfil rectangular de 80 x 40 x 2 mm y el otro de un tubo cuadrado de 40 x 2 mm, el perfil que está en forma perpendicular a su base es de sección rectangular de 40 x 20 x 2 mm, la parte de la mitad y de arriba están formadas por tubo cuadrado de 40 x 2 mm, perfil L 40 x 40 x 2 mm, perfil C de 37 x 22 x 2 mm y por un tubo cuadrado de 40 x 2 mm que une los perfiles rectangulares.



Figura 3. 3 Tablero Festo didactic

Fuente: Laboratorio Neumática

### 3.4 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 (admisible)
- 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 3.4 se puede ver un nomograma de diámetro de tubería.

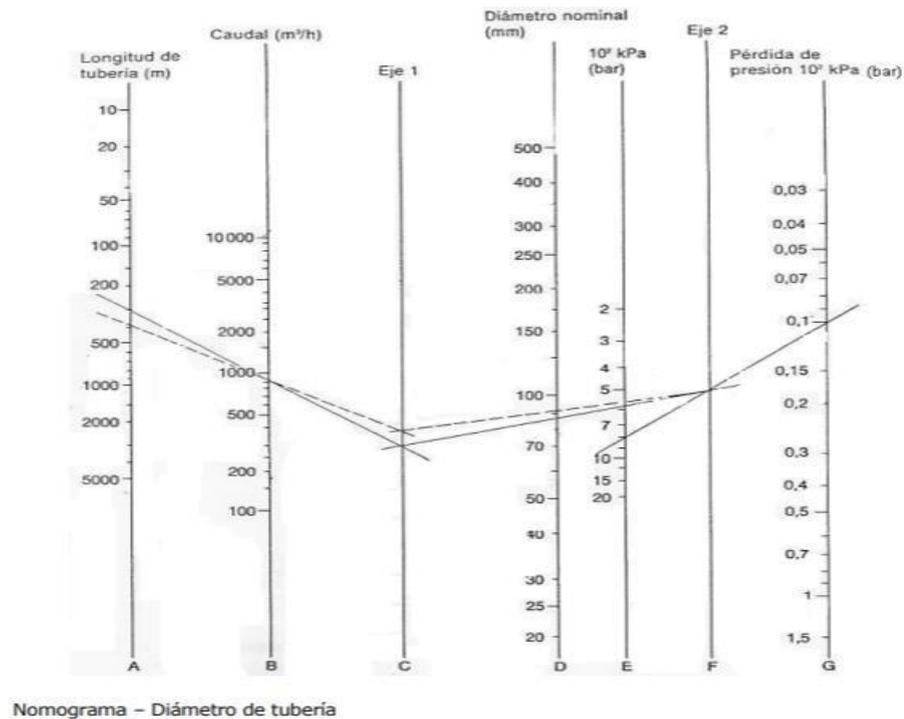


Figura 3. 4 Nomograma de diámetro de tubería

Fuente: (Neumática Básica, 2017)

### 3.5 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)

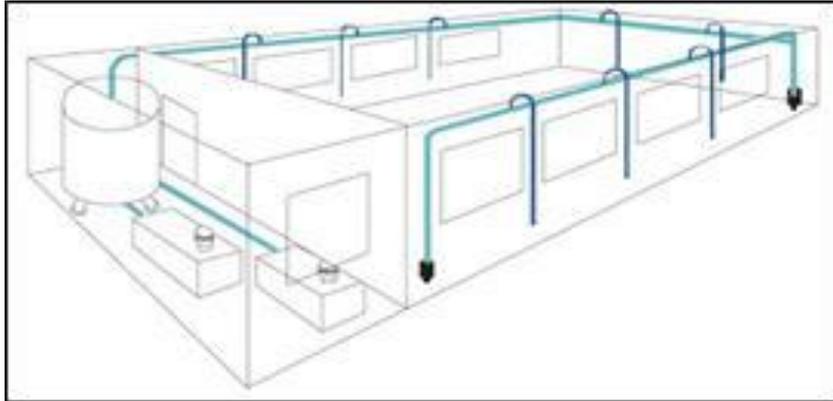


Figura 3. 5 Red de distribución abierta

Fuente: (Automatización Industrial, 2011)

### 3.6 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.

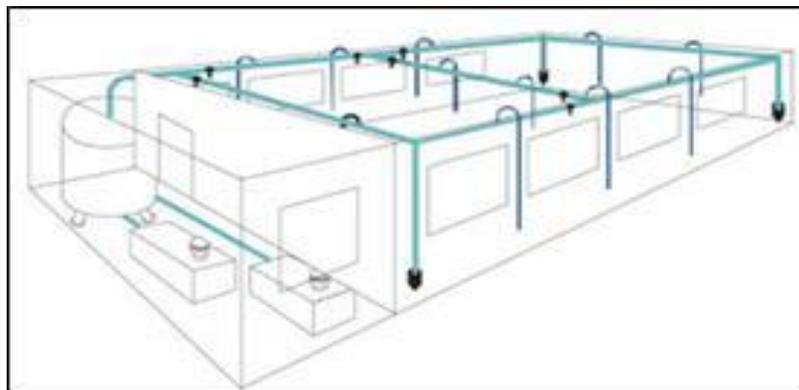


Figura 3. 6 Red de distribución cerrada

Fuente: (Automatización Industrial, 2011)

### 3.7 Inclinación

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

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

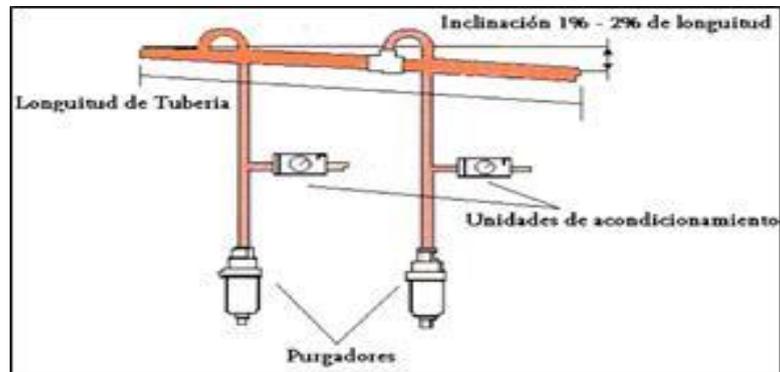


Figura 3. 7 Porcentaje de inclinación de la red

Fuente: Parker training, 2015

## 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

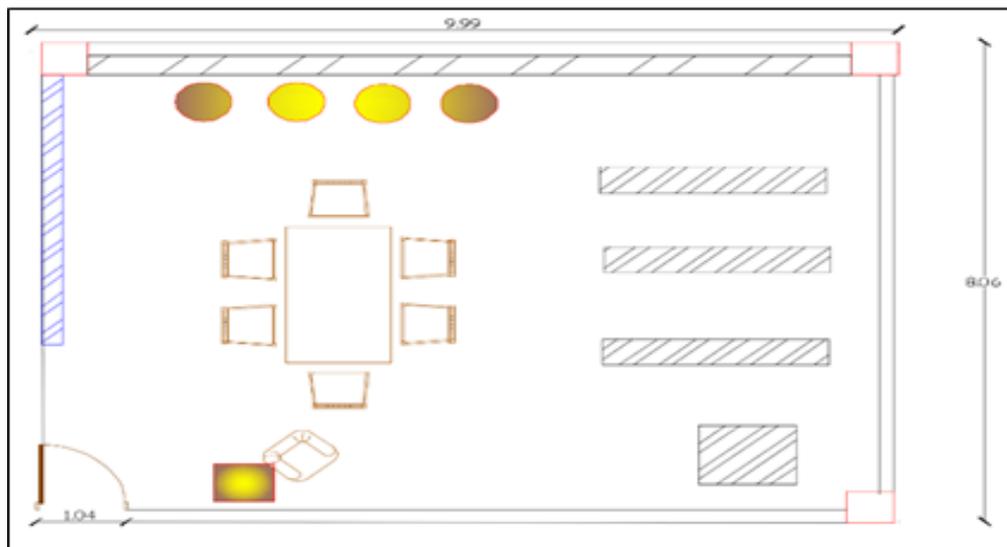


Figura 4. 2 Espacio físico del laboratorio de Neumática de FETD

Fuente: El autor

El laboratorio está ubicado en el primer descanso, planta alta de la FETD, del lado izquierdo en sentido de subida, junto a los laboratorios de Electricidad, Electrónica y Telecomunicaciones.

## 4.2 Distribución del Laboratorio

### 4.2.1 Red de distribución

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

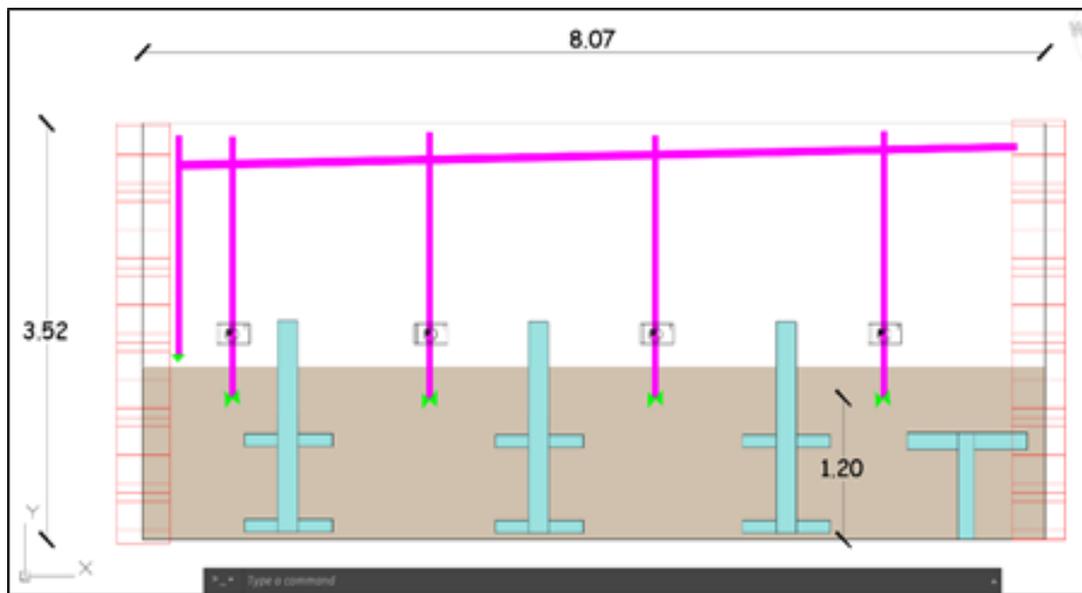


Figura 4. 3 Red de distribución

Fuente: El autor

### 4.2.2 Puestos de prácticas – Ubicación

Debido al área del laboratorio, se tiene 3 mesas o tableros didácticos (puestos de trabajos), pero la red contará con una extensión extra para la alimentación de proyectos o máquinas que se agreguen. En la figura 4.4 se muestran los tableros mencionados.



Figura 4. 4 Tableros para neumática de la FETD

Fuente: El autor

#### 4.2.3 Cuarto de compresor – Ubicación

El cuarto del compresor estará ubicado en el exterior del laboratorio, donde se realizarán adecuaciones para construir su cuarto con la respectiva alimentación eléctrica, puesta tierra y ventilación adecuada.



Figura 4. 5 Cuarto de compresor

Fuente: El autor

## 4.3 Diseño de obras físicas

### 4.3.1 Red de distribución y almacenamiento de aire comprimido

#### 4.3.1.1 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:

$$\begin{aligned} &= \frac{101.3 + \text{Presión de trabajo}}{101.3} \\ &= \frac{101.3 + 600}{101.3} = \frac{701.3}{101.3} = 6.923 \end{aligned}$$

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

Tendremos 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

Tendremos 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

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

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

Consumo total (SE)= 3.398\*4\*1=13.592 l/min

Consumo total (DE)= 6.5529\*4\*1= 26.2116 l/min

Consumo total por tablero= 13.592 + 26.2116 = 39.8036 l/min → 2.388 m<sup>3</sup>/h

Consumo total=2.388m<sup>3</sup>/h \* 4= 9.552m<sup>3</sup>/h

#### 4.3.1.2 Acumulador de aire comprimido

Este acumulador compensa las oscilaciones de presión en la red de tuberías a medidas que se consume aire comprimido, adicionalmente es un elemento esencial en un sistema neumático.

El tamaño del acumulador depende de:

- \* Caudal de suministro del compresor
- \* El consumo de aire
- \* La red de tuberías
- \* Tipo de regulación
- \* Diferencia de presión admisible en el interior de la red

Para el diseño se recomienda que el funcionamiento del compresor sea intermitente, esto nos da un dato, su frecuencia de conmutación en una hora

Conociendo el consumo de aire se obtiene los siguientes datos:

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

Utilizando el siguiente diagrama se precisa que el acumulador sea de aproximadamente de 0.7m<sup>3</sup>

#### 4.3.1.3 Cálculo de tubería

Tabla 4. 1 Cálculo de tubería

Consumo de aire	9.552 m <sup>3</sup> /h
Longitud de tubería	23.5 m
Presión de servicio	700kPa-7 bares
Diferencia de presión	1 bar
Elementos de la red	
Piezas en T	4
Piezas codo 90°	4
Válvula cierre	5

Fuente. El autor

### Uso del nomograma de diámetro de tubería

Primero se une la línea A (longitud de tubo) con la línea B (cantidad de aire aspirado) y se prolonga el trazo hasta el eje C.

Segundo, en él se une la línea E (presión) con la línea G (pérdida de presión admitida).

En la línea F (eje 2) se obtiene una intersección. Para finalizar se une los puntos de intersección de los ejes 1 y 2. Este trazo corta la línea D (diámetro nominal  $d$  la tubería) en un punto que proporciona el diámetro deseado.

### Resultado

Usando el nomograma para diámetro de tuberías se obtiene un diámetro de 9.8mm para el diseño del laboratorio.

Con este dato encontrado y los valores de longitudes supletorias, se obtiene que:

Tabla 4. 2 Longitudes supletorias

Elemento en la red	Valor de la tabla	Cantidad de elementos	Total
Piezas en Tee	0.20	4	0.8 m
Codo 90°	1.2	4	4.8 m
Válvula cierre	3.6	5	18 m
	Total Long. Supletoria		23.6 m
	Long. Tubería		23.5 m
	Total de Tubería en la red		47.1 m

Fuente. El autor

Con este nuevo valor se vuelve a calcular en el nomograma el diámetro de la tubería, con lo que ahora se obtiene un diámetro de 12.5mm que en el mercado sería una tubería de 1/2" (media pulgada).

#### 4.3.1.4 Tendido de la red

El tendido de la red es tan importante como el dimensionamiento de la misma.

Las tuberías requieren un mantenimiento constante, por lo que no deben instalarse en obras ni en lugares demasiado estrechos.

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.

#### 4.3.2 Elección del compresor

Tabla 4. 3 Datos técnicos generales

<b>Datos Técnicos Generales</b>	
Consumo de laboratorio	9.552 m <sup>3</sup> /h
Consumo mínimo en la tabla	100 m <sup>3</sup> /h
Diámetro de tubería	½'' (media pulgada)
Presión de trabajo	600kPa
Presión de servicio	700kPa

Fuente. El autor

Con el cuadro de datos técnicos y la tabla de relación caudal/presión se pudo obtener para el laboratorio, un compresor de émbolo con una presión de trabajo de 700kPa, con un consumo aproximado de 30 m<sup>3</sup>/h.

## Conclusiones

Al término de este trabajo investigativo, concluyo lo siguiente:

- El compresor de pistón lubricado es el más utilizado en diseño y puesta en marcha de instalaciones de aire comprimido.
- El aceite de lubricación de este tipo de compresores es un elemento vital para el funcionamiento y rendimiento de los mismos.
- Los compresores de pistón exentos de aceite poseen una cámara de aspiración y compresión que está 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.
- 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.
- El diseño realizado para el laboratorio de la FETD está tomado con datos reales y puede ser implementado en el momento que se disponga de los fondos necesarios o presupuestos.
- El dimensionamiento y su posible implementación facilitará la funcionalidad de enseñanza práctica en la asignatura de neumática y electro neumática.

## Recomendaciones

- 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.
- A los estudiantes, que dediquen tiempo al uso de herramientas de diseño CAD, que facilitan la creación de planos o gráficos de referencias para proyectos universitarios y/o profesionales.
- A la comunidad en general, se recomienda dedicar tiempo a proyectos investigativos, ya que con ello se aporta para dar solución ante un problema determinado.
- Para determinar los diámetros de las tuberías en la instalación eléctrico, se debe conocer los datos técnicos de las herramientas que se van a utilizar en el sistema y de esa manera, evitar accidentes futuros.
- Para el buen funcionamiento del sistema y para evitar daños por corrosión en la tubería del aire comprimido, se debe purgar el sistema ya que el aire que está en el ambiente tiene mucha 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.

## Referencias Bibliográficas

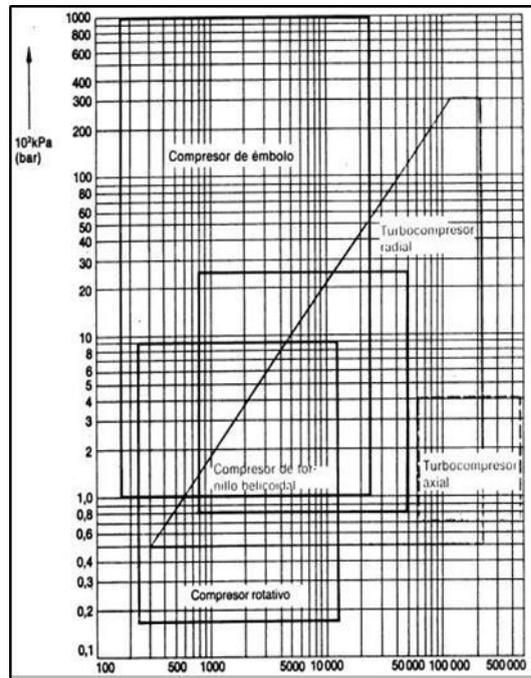
- Anonimo. (2018). *Regulador de Presion*. Obtenido de Mercado Libre :  
[https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-415841038-regulador-de-presion-de-aire-38-campbell-hausfeld-150-psi-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-415841038-regulador-de-presion-de-aire-38-campbell-hausfeld-150-psi-_JM)
- Arce, R. (2012). *Producción 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 qué se genera vacío 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-Técnica 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-automatizada.blogspot.com/2010/09/elementos-de-fuerza-cilindros-y-motores.html>
- Industrial Automática. (2010). *Industrial Automática*. Recuperado el Julio de 2018, de Industrial Automática: <http://industrial-automatizada.blogspot.com/2010/09/distribucion-de-aire-comprimido.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>
- Jiménez, A. (Mayo de 2012). *Producción del aire comprimido*. Obtenido de WordPress: <https://neumaticabasicaepp.wordpress.com/44-2/produccion-del-aire-comprimido/>
- Mundo Compresor. (2018). *Diferentes tipos de compresores*. Obtenido de <https://www.mundocompresor.com/articulos-tecnicos/diferentes-tipos-compresores>
- Neumática Básica. (2017). *Cálculo de redes*.
- 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

### Diagrama de elección de compresor



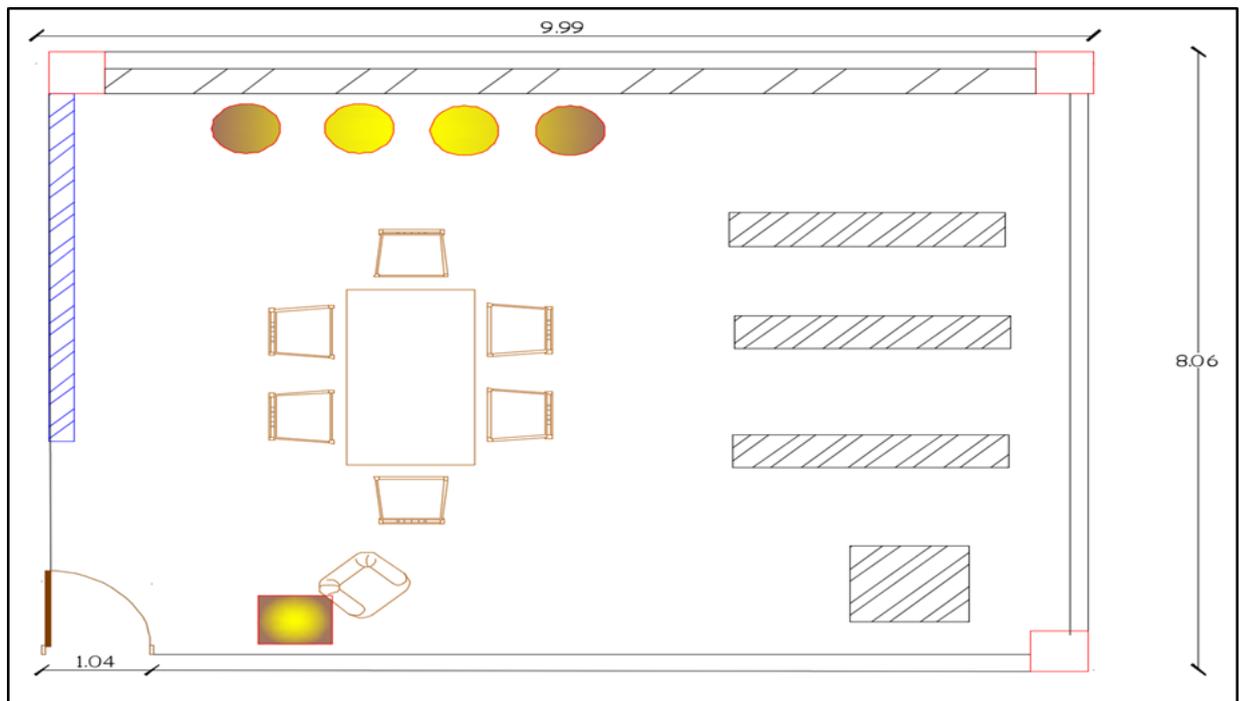
### Tableros didácticos de Neumática



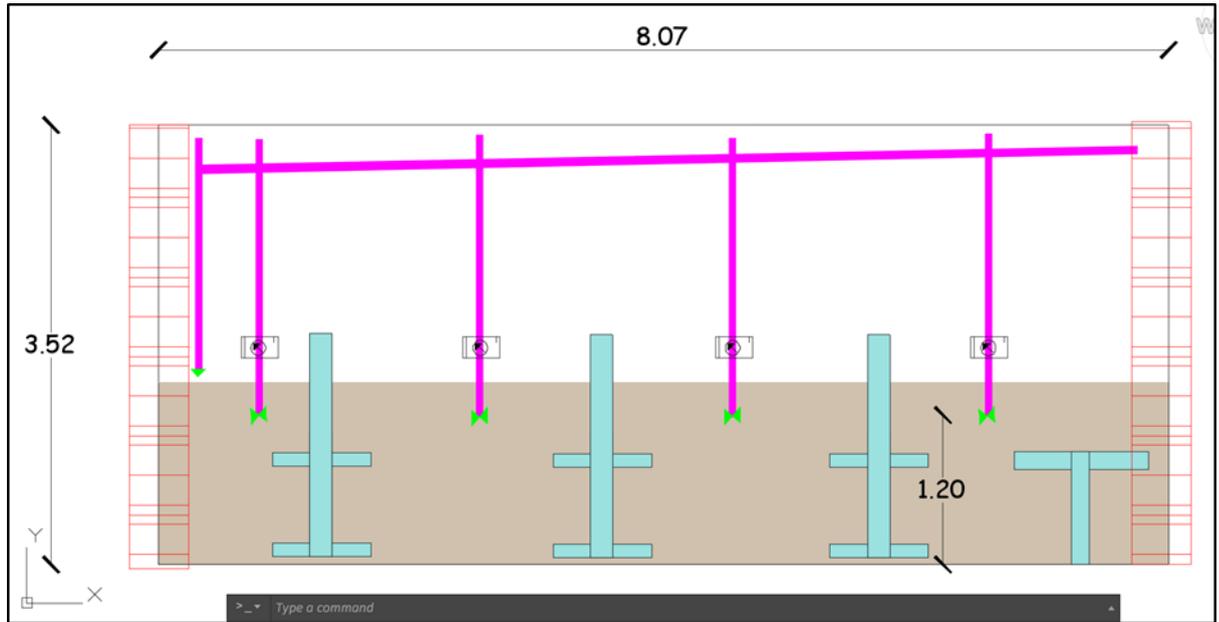
## Proyecto de Neumática



Vista superior del laboratorio de Neumática



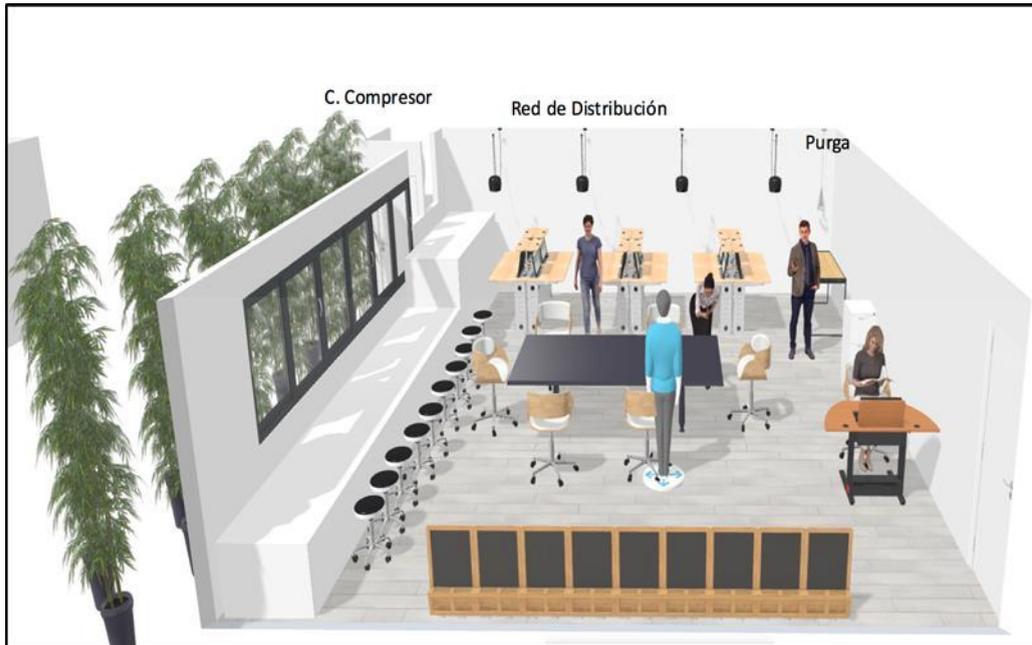
### Vista frontal de las instalaciones



### Cuarto de compresor



### Vista tridimensional del laboratorio



### Vista tridimensional



**Vista final del laboratorio**



## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **Vera Mejía Freddy Daniel** con C.C: **092148808-6**. 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** 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, 15 de Agosto del 2018

---

**Vera Mejía Freddy Daniel**

C.C: 092148808-6

<b>REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA</b>			
<b>FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN</b>			
<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	"Diseño y dimensionamiento de instalación de aire comprimido para Laboratorio de Neumática en la FETD-UCSG"		
<b>AUTOR</b>	Vera Mejía, Freddy Daniel		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Bohórquez Escobar, Celso Bayardo		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil (UCSG)		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo (FETD)		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería en Eléctrico-Mecánica		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniero en Eléctrico-Mecánica		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	15 de Agosto del 2018	<b>No. PÁGINAS:</b>	92
<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 el dimensionamiento de las instalaciones de aire comprimido para el laboratorio de Neumática, desde hace mas de 8 años dicho laboratorio ha operado con tres compresores didacticos de 1 hp y hoy en día por falta de mantenimiento preventivo un compresor esta fundido, con lo cual las praácticas se dificultan ya que con cada compresor se puede realizar ejercicios de neumática en dos lados de un tablero. De esta manera el objetivo principal es proponer el diseño de la instalación de tuberías que alimeneten a tres tableros más una tubería adicional con derivación a dos tomas de aire comprimido para que funciones equipos que son proyectos realizados por estudiantes. A traves de la metodología de investigación se establece un marco teórico de los componentes neumáticos, se emplea métodos descriptivo para caracterizar dichos componentes, también el método empírico par el cálculo y diseño de una instalación de aire, comprimido para el laboratorio de la FETD.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-4- (registrar teléfonos)	<b>E-mail: (registrar los emails)</b>	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN</b>	<b>Nombre: (Apellidos, Nombres completos)</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-980960875		

<b>(COORDINADOR PROCESO UTE)::</b>	<b>DEL</b>	<b>E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec</b>
<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>		