

**Universidad Internacional del Ecuador**

**Facultad de Ingeniería Mecánica Automotriz**



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO  
PARA EL USO DE HERRAMIENTA NEUMÁTICA**

**Proyecto previo a la obtención del Título de Ingeniero**

**Mecánico Automotriz**

**Elaborado por:**

**Raúl Andrés Carrión Campana**

**Director: Ing. Edgar Cajas**

**Quito, Octubre 2017.**

## CERTIFICACIÓN

Yo; Andrés Carrión, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación, y que he consultado las referencias bibliográficas que es incluyen en este documento.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet, según lo establecido en la ley de propiedad intelectual, reglamento y leyes.

Andrés Carrión

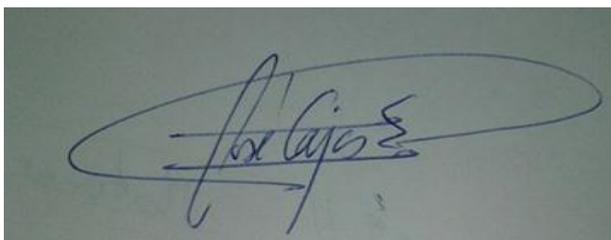
CC:



Yo, Edgar Cajas, certifico que conozco al autor del presente trabajo siendo responsable exclusivo tanto de su originalidad y autenticidad, como de su contenido.

Ing.: Edgar Cajas

CC.



## **DEDICATORIA**

Le dedico esta parte de mi vida a mi familia, gracias a esta he llegado a culminar esta etapa de mi vida, gracias a su esperanza, constancia y perseverancia yo llego al final de esta etapa de mi vida, sin el apoyo de todos y cada uno de los integrantes de mi familia yo nunca hubiera culminado esta etapa de mi vida, gracias familia.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi Padre, Madre, hermanos y familiares. por el apoyo, por sus palabras y todas las cosas que hicieron por mí, cada uno de esos momentos y ayudas que me brindaron, saber que tengo un hermano o una hermana en quien apoyarme en momentos duros y buenos y una madre amorosa quien con su sola presencia ilumina todo a su alrededor, doy gracias a Dios por la familia que me regalo.

## Índice General

Capítulo1.....	1
1.1 Definición de aire comprimido.....	1
1.2 Uso del aire comprimido.....	2
1.3 Propiedades del aire comprimido.....	3
1.4 Normas que rigen en el sistema de A/C.....	4
1.5 Funcionamiento de la neumática.....	6
1.5.1 Gases perfectos.....	6
1.5.2 Ley Isotérmica (Ley de Boile y Mariotte).....	7
1.5.3 Ley Isobarica (Gay Lussac).....	8
1.5.4 Ecuación de estado de los gases ideales.....	10
1.5.5 Análisis de la composición del aire.....	11
1.5.6 Aire comprimido conceptos generales.....	12
1.5.6.1 Humedad absoluta.....	13
1.5.6.2 Humedad de saturación .....	13
1.5.6.3 Humedad relativa.....	15
1.5.6.4 Temperatura de punto de rocío.....	16
1.5.6.5 Determinación de punto de rocío.....	16

1.5.6.6	
Viscosidad.....	17
Capítulo 2.....	19
2 Componentes de un sistema da aire comprimido.....	19
2.1 El compresor.....	20
2.2 Tipos de compresores.....	21
2.2.1 Compresores de desplazamiento positivo.....	21
2.2.1.1 Compresores de pistón.....	22
2.2.1.2 Funcionamiento del compresor de pistón.....	23
2.3 Compresor de diafragma.....	26
2.4 Rotativos.....	26
2.5 Compresores de tornillo.....	27
2.6 Compresor de paletas rotativas.....	28
2.7 Compresor de lóbulos.....	28
2.8 Dinámicos.....	29
2.9 Compresor radial.....	29
2.10 Compresor Axial.....	31
Capítulo 3.....	32
3 Etapas de purificación y tratamiento del aire.....	32

3.1 Filtro de aire.....	33
3.1.1 Clasificación de filtros.....	33
3.1.2 Filtros de carbón activo.....	34
3.1.3 Filtros de aire con trampa de agua.....	34
3.2 Secado por adsorción.....	35
3.3 Secado por absorción.....	37
3.4 lubricación del aire del sistema.....	38
3.5 Características de lubricantes empleados en sistemas de aire comprimido.....	39
3.5.1 Nafténicos.....	39
3.5.2 Parafínicos.....	39
3.6 Aceites recomendados.....	40
3.7 Lubricador.....	42
3.8 Venturi.....	43
3.9 Válvula reguladora de presión.....	43
3.10 Secado de aire.....	46
3.11 Modo de secado de aire.....	46
3.11.1 Condensación.....	46
3.11.2 Adsorción/Absorción.....	47

3.11.3	
Difusión.....	47
3.12 Secado por refrigeración.....	48
3.13 Manómetro de presión.....	48
Capítulo 4.....	49
4.1 Introducción red abierta.....	49
4.2 Tipos generales de redes.....	50
4.2.1 Red abierta.....	50
4.2.2 Red cerrada.....	50
4.3 Red interconectada con tuberías derivadas de las transversales.....	51
4.4 Riesgos y consideraciones a tomar en cuenta al diseñar las líneas de A/C.....	51
4.5 Selección de compresor y acumulador.....	54
4.6 Lugar a colocar el compresor.....	57
Capítulo 5.....	57
5 Justificación del diseño y materiales utilizados en la construcción del sistema de aire comprimido.....	57
5.1 Tubería de media pulgada.....	57
5.1.1 Instalación primera toma de aire comprimido (Herramienta neumática).....	57

5.1.2 Instalación de tubería por dentro de la pared.....	59
5.3 Instalación de compresor.....	61
5.4 Instalación y conexión del sistema.....	63
5.5 Instalación de las líneas de aire.....	64
5.6 Instalación de tubería con su respectiva (T).....	64
5.7 Instalación de la segunda toma de aire comprimido (herramienta neumática)...	66
5.8 Diseño, construcción e instalación del sistema de aire comprimido para el área de investigación de motores “BOSCH”.....	67
5.9 Soporte estructural para compresor.....	69
5.10 Plano arquitectónico de estructura para el compresor.....	72
5.11 Plano de elevación y vista lateral del compresor y la estructura.....	73
5.12 Presupuesto de materiales para la fabricación del sistema de A/C.....	73
Capítulo 6.....	74
6 Determinaciones de consumo del sistema.....	74
6.1 Calculo de diámetro de tubería.....	74
6.2 Elección del compresor.....	79
6.3 Deposito de aire comprimido.....	85
6.4 Defectos en el depósito de A/C.....	86
6.5 Dimensionamiento del depósito de reserva.....	87

Capítulo 7.....	93
7 Seguridad industrial.....	93
7.1 Flujograma de mantenimiento.....	94
7.1.1 Abrir puerta estructura.....	95
7.1.2 Colocar escalera y subir.....	95
7.1.3 Sacar tapón de vaciado de aceite.....	95
7.1.4 Vaciar aceite en un contenedor.....	95
7.1.5 Se encuentra el aceite sin viscosidad.....	95
7.2 Seguridad industrial “visual”.....	96
7.2.1 Peligro riesgo eléctrico.....	97
7.2.2 Altura y ancho máximo.....	97
7.2.3 Línea eléctrica.....	97

## Índice de tablas

Tabla 1.1 Normas que rigen la neumática.....	5
Tabla 1.2 Tipos de válvulas.....	6
Tabla 1.3 Ru.....	11
Tabla 1.4 Componentes del aire con su respectiva concentración.....	12
Tabla 1.5 Componentes del aire.....	14
Tabla 1.6 Presión de vapor.....	15
Tabla 3.1 Contenido del aire comprimido.....	33
Tabla 3.2 y 3.3 Modelo y Caudal.....	40
Tabla 3.4 Aceites recomendados.....	41
Tabla 3.5 caudal.....	41
Tabla 4.1 Consumo y presión de herramienta neumática.....	54
Tabla 4.2 Catalogo para elección de un compresor.....	56
Tabla 5.1 Tabla de Valores y Materiales.....	72
Tabla 6.1 Herramientas a utilizar.....	73
Tabla 6.2 Diámetro de tubería.....	76
Tabla 6.3 Catalogo.....	77
Tabla 6.4 Accesorios.....	80
Tabla 6.5 Lista.....	84

## Índice de figuras

Figura 1.1 Ley de boile y Mariotte.....	7
Figura 1.2 Transformación.....	8
Figura 1.3 Ley isobárica.....	9
Figura 1.4 Diagrama de Mollier.....	17
Figura 2.1 Componentes de un sistema de aire comprimido.....	19
Figura 2.2 Compresor de pistón.....	22
Figura 2.3 Ciclo de trabajo de un compresor de simple efecto.....	23
Figura 2.4 Ciclo de trabajo.....	24
Figura 2.5 Ciclo de trabajo.....	25
Figura 2.6 Compresor de diafragma.....	26
Figura 2.7 Compresor de tornillo.....	27
Figura 2.8 Compresor de lóbulos.....	29
Figura 2.9 Compresor radial.....	30
Figura 2.10 Compresor radial.....	30
Figura 2.11 Compresor axial.....	31
Figura 2.12 Compresor axial.....	31
Figura 3.1 plano lateral filtro.....	35
Figura 3.2 Esquematización del secado por adsorción.....	36

Figura 3.3 Secado de membrana.....	38
Figura 3.4 Sección de un lubricador.....	42
Figura 3.5 Venturi.....	43
Figura 3.6 Regulador de presión.....	45
Figura 3.7 Tipos de compresores.....	21
Figura 3.8 Adsorción/Absorción.....	47
Figura 3.9 Difusión.....	47
Figura 5.1 Instalación filtro trampa de agua más tubería de cobre y llave de paso..	58
Figura 5.2 Tubería de cobre más codo y soldadura.....	59
Figura 5.3 Tubería dirigida a través de la pared.....	60
Figura 5.4 Instalación de cableado eléctrico.....	61
Figura 5.5 Instalación manguera de alta presión.....	62
Figura 5.6 Instalación y conexión del sistema.....	63
Figura 5.7 Instalación de las líneas de aire.....	64
Figura 5.8 Instalación de las líneas con su respectiva T.....	65
Figura 5.9 Instalación entre la pared.....	65
Figura 5.10 Instalación de la llave de paso más filtro trampa de agua.....	66
Figura 5.11 Instalación de la segunda toma de A/C y accesorios.....	67
Figura 5.12 Colocación del compresor dentro de la estructura.....	70

Figura 5.13 Fabricación e instalación de la estructura soportante del compresor.....	71
Figura 6.1 MZB air compressor.....	82
Figura 6.2 Placa compresor.....	83
Figura 6.3 Manual MZB.....	84
Figura 6.4 Caudal y capacidad.....	88
Figura 7.1 Tríptico.....	91
Figura 7.2 Diagrama.....	92
Figura 7.3 Seguridad industrial.....	94

## Resumen

Básicamente el cálculo del sistema de aire comprimido para el taller de automotriz de la presente tesis, se debe conocer las necesidades del número de tomas de aire, en base a los requerimientos de herramientas y procesos a utilizar en el mismo.

Se obtendrán datos de cada una de las herramientas neumáticas, respecto al caudal y presión necesaria para su correcto funcionamiento, generalmente el fabricante proporciona estos datos, se deberá tomar en cuenta la frecuencia de utilización de las herramientas, para promediar el caudal que utilizarán en la jornada de trabajo. Tomando en cuenta estos datos se procede al cálculo de las características del compresor, su potencia y velocidad deberá ser suficiente para cumplir con los requerimientos de caudal y presión anteriormente calculados, sin olvidar las extensiones de nuevas herramientas que podrían darse a futuro.

Se procede al cálculo de tuberías, tomando en cuenta la distribución o diagrama del circuito neumático, las distancias de tubería deben ser tomadas en cuenta cada tramo del diagrama, sin olvidar los accesorios utilizados, como codos, tés, válvulas, etc. Para calcular el diámetro de las tuberías de cada tramo, se tomará en cuenta el caudal que circulará, y la velocidad que existe en ese tramo, quedando como incógnita el área de donde se obtiene el diámetro respectivo.

Finalmente se instalará el equipo para filtrar el aire, lubricar ciertas herramientas y principalmente para disminuir la humedad del aire instalando trampas de agua, ángulo de caída en tuberías, etc.

## **Abstract**

Basically the calculation of the compressed air system for the automotive shop of this thesis, the needs of the number of air intakes must be known, based on the requirements of tools and processes to be used in it. Data will be obtained from each of the pneumatic tools, with respect to the flow and pressure necessary for their correct operation, generally the manufacturer provides these data, the frequency of use of the tools must be taken into account, in order to average the flow rate that they will use in the working day. Taking these data into consideration, the compressor characteristics are calculated, its power and speed should be sufficient to meet the previously calculated flow and pressure requirements, not to mention the extensions of new tools that could be available in the future. Pipes are calculated, taking into account the distribution or diagram of the pneumatic circuit, the pipe distances must be taken into account each section of the diagram, not forgetting the accessories used, such as elbows, tees, valves, etc. In order to calculate the diameter of the pipes of each section, the flow rate to be circulated and the velocity existing in that section shall be taken into account, leaving the area where the respective diameter is obtained as unknown. Finally the equipment will be installed to filter the air, to lubricate certain tools and mainly to reduce the humidity of the air installing water traps, angle of fall in pipes, etc.

In today's industry it is essential to use a medium that allows the use of energy change in a clean and efficient way, pneumatics meet this objective, by storing energy to produce a job, this is achieved by accumulating air from the atmosphere and inside a tank Or reservoir at higher atmospheric pressures.

The industry requires the processes to be fast and precise, to move, press, rotate, lift, etc., with speed, direction and force control. Together with electrical energy, they are a source of work for industries, workshops, etc.

The generation of compressed air is possible anywhere within the atmosphere, since the raw material (air) is inside this site, which can then be stored, transported easily, can be stored.

Within the School of Automotive Mechanics at UIDE, it would be possible to implement both pneumatic tools used in the repair, armed and disarmed automotive systems as well as knowledge of the processes of construction of automotive assemblies or industry in general.

It is important to implement a properly designed compressed air system for the practical demonstration of these pneumatic applications.

The competitiveness in this field with other universities would be quite high, having students who achieve and apply this discipline, in the industry in the performance as workers inside it

## Introducción

En la industria actual se hace imprescindible un medio que permita la utilización de cambio de energías en forma limpia y eficiente, la neumática cumple este objetivo, al almacenar energía para producir un trabajo, esto lo logra acumulando aire de la atmosfera y dentro de un tanque o reservorio a presiones mayores que la atmosférica.

La industria requiere que los procesos sean rápidos y precisos, para mover, prensar, rotar, levantar, etc., con control de velocidad, dirección y fuerza. Junto con la energía eléctrica constituyen una fuente de trabajo para industrias, talleres, etc.

La generación de aire comprimido es posible en cualquier lugar dentro de la atmosfera, puesto que la materia prima (aire) se encuentra dentro de este sitio, pudiendo ser este luego almacenado, transportado con facilidad, posibilita ser almacenado.

Dentro de la escuela de Mecánica Automotriz de al UIDE, se podría implementar tanto herramientas neumáticas utilizadas en la reparación, armada y desarmada de sistemas automotrices como el conocimiento de los procesos de construcción de conjuntos automotrices o de la industria en general.

Es importante que se implemente un sistema de aire comprimido debidamente diseñado, para la demostración práctica de estas aplicaciones neumáticas.

La competitividad en este campo con otras universidades sería bastante alta, teniendo alumnos que logren y apliquen esta disciplina, en la industria en el desempeño como trabajadores dentro de ella.

Las ventajas principales del aire comprimido son:

- Los mantenimientos que deben realizarse en el sistema son simples, no requiere de mecanismos sofisticados.
- No constituye un peligro potencial de combustión y explosión el aire por si mismo no es un combustible.
- Es posible generar presión en cualquier lugar que disponga de captación de aire fresco, sin contaminantes potenciales.
- El aire en condiciones a alta presión constituye un agente eficiente respecto a la energía que transmite.
- Básicamente el transporte del medio conductor en este caso el aire, es simple y no requiere de mayor tecnología.
- Es posible almacenar el aire de acuerdo a las necesidades actuales, de tal manera que no reproduzca un desabastecimiento.
- Una desventaja del sistema es su costo elevado de producción, debiendo tomar en cuenta en las propuestas este gasto.

El objetivo general de la presente tesis es diseñar un sistema que abastezca al uso de herramientas neumáticas básicas, para prácticas de los estudiantes en los laboratorios de la facultad, implementado luego el sistema, comprobando su funcionamiento, con la menor caída de presión posible.

Luego de la implementación de dicho sistema se deberá tener cuidado en lo siguiente:

- Verificar que se cumplan normas internacionales tanto de seguridad industrial, como de normas ambientales, que lógicamente también se encuentran vigentes en nuestro país.

- Verificar que se solucionen problemas de los estudiantes de la facultad, teniendo un sistema de aire comprimido que sea eficiente y que logre mantener funcionando las herramientas neumáticas necesarias para sus estudios.
- Determinar que las fugas por accesorios neumáticos, tuberías en general por todo el sistema sea mínimo posible y reparar si es necesario.

El objetivo específico de la presente tesis es diseñar e implementar para el área de Bosch un sistema de A/C, asegurando su correcto funcionamiento, al realizar las pruebas respectivas, de tal manera que satisfaga los requerimientos previstos de prácticas de mecánica automotriz, para que este objetivo sea cumplido, se debe realizar lo siguiente:

- Definir el problema presente que se tiene en la facultad, analizando las posibles soluciones del mismo, se deberá tener una justificación técnica en la parte económica, que no sobrepase límites de gastos previstos luego se analizara las normas existentes tanto en el ámbito internacional como en el nacional que se adapten al presente proyecto, cumpliendo con sus normativas y exigencias.

Se estudiarán los distintos componentes como compresores, tipos, funcionamiento, etc., tanques de reserva, accesorios para controlar humedad, filtros, lubricación, etc., así como tipos de tubería que existen en el país, esto de una manera muy general.

Como justificación de proyectos tenemos la tecnificación de prácticas de alumnos en los talleres, tendientes siempre a visualizar un sistema muy eficiente,

de realizar un trabajo con la utilización de herramientas neumáticas con la consiguiente disminución de los tiempos de operación.

Ya en industrias automotrices de mayor tamaño, se piensa en emplear al aire comprimido para mover brazos robóticos que realizaran en estos trabajos, así por ejemplo en la cadena de ensamblaje de ciertas empresas automotrices ya se utiliza procesos inteligentes para controlar movimientos de brazos robóticos que realizaran el ensamblaje

## Capítulo 1

### 1.1 Definición de aire comprimido.

Una de las energías más antiguas conocidas por el hombre, y aprovechadas para realizar trabajos en las industrias, constituye el aire comprimido. Se lo ocupa en el funcionamiento de herramientas neumáticas, transportadores de banda, en general sistemas automáticos actuales.

El descubrimiento del aire como fuente de energía aprovechable se remonta a muchos siglos, el primero que se conoce a ciencia cierta de la utilización eficiente de aire comprimido, fue el griego KTESIBIOS, hace más de dos mil años, construyó una catapulta de aire comprimido. El físico francés Denis Papín en 1700 usó una rueda hidráulica para disminuir el volumen de aire, logrando comprimirlo y transportarlo a través de tuberías.

En 1865 el inventor inglés George Law, desarrolló un taladro neumático para realizar túneles en la construcción de la línea férrea.

Finalmente el ingeniero americano George Westinghouse en 1868 desarrolla los frenos de aire para locomotoras. En la actualidad es un medio indispensable e insustituible en la industria.

Neumática procede de los antiguos griegos de la expresión “pneuma” que significa la respiración, el viento y, en filosofía, también el alma, de allí nace la neumática que estudia los movimientos y procesos del aire.

## 1.2. Usos del aire comprimido.

Son muchos los usos del aire comprimido que se tienen en la industria, en maquinaria, controles automáticos, herramienta especializada, bandas de transportación, etc. En base al valor de presión de trabajo del aire comprimido, se clasifica en:

- Alta presión ( Desde 1400 Kpa a 4100 Kpa ).

En la industria manufacturera que utilizan como materia prima el “Pet”, como en la fabricación de botellas.

- Presión media (Desde 620 Kpa a 1400 Kpa. ).

-Limpieza de piezas de laboratorio, mezclado de líquidos por agitación, pruebas especializadas en laboratorios.

-Producción de oxígeno en los hospitales y en movimiento de ventiladores en cuidados intensivos.

-En talleres automotrices es indispensable una red de aire comprimido, para mover herramienta neumática específica, cámaras de pintura pistolas de impacto, etc.

- Presión baja (101 KPa a 202 KPa).

-En recipientes cerrados la extracción de vapores contaminantes.

-Transporte por bandas con mando neumático, para material granulado o polvos.

-En procesos de oxigenación.

-Optimiza el proceso de combustión.

### 1.3. Propiedades del aire comprimido.

En la actual industria se considera al aire comprimido como un medio idóneo a muchas soluciones, especialmente en automatización, en relativamente poco tiempo se han hecho indispensable, puesto que no existe otro medio más simple y económico, las principales propiedades del aire comprimido son:

- Almacenable. En un circuito de aire comprimido es necesario garantizar la demanda para mantener funcionando herramientas, equipos, automatización, etc. necesariamente el compresor necesita períodos de funcionamiento, un depósito se encarga de mantener un almacenaje de aire.
- Antideflagrante.- En los circuitos de aire comprimido no se lleva a cabo ningún tipo de combustión, el peligro de auto inflamación no existe, no es necesario la instalación costosa de equipo antideflagrante.
- Limpio.- Dependiendo del tratamiento inicial que se dé al aire (filtros de aire, trampas de agua, etc.) este permanecerá limpio, en caso de la industria farmacéutica, alimenticia, de la madera, textiles, etc. El aire deberá mantenerse en un grado de pureza determinado, el aire no puede contaminarse con gases tóxicos en caso de fuga.
- Velocidad.- Es un medio de trabajo muy rápido pudiendo utilizarse en sistemas que necesitan repetidas tareas en corto tiempo
- Existen ciertas desventajas que limitan la utilización de aire comprimido, son:

- La preparación del aire comprimido debe cumplir ciertas condiciones para determinadas industrias, siendo preciso eliminar impurezas y humedad, esto evita un desgaste prematuro en eso es posible transmitir grandes fuerzas a equipos y herramientas.
- No es posible transmitir grandes fuerzas, puesto que el aire igual que todos los gases son compresibles, no es posible mantener una velocidad lineal uniforme en los émbolos.
- Ruidos molestosos.- El aire al ser expulsado a gran velocidad como en una fuga, produce un ruido molesto, en la actualidad se utilizan materiales isonorizantes que atenúan este inconveniente.
- Costos.- La producción de aire comprimido resulta en una empresa de un costo oneroso, pudiendo economizar en compensación con los elementos de los circuitos económicos.

#### 1.4. Normas que rigen en el sistema de aire comprimido.

Asme b31.8.- Desde 1915 a 1925 se hizo evidente la necesidad de tener un código para tuberías a alta presión, inició el proyecto B31 en marzo de 1926, la Asme (American Association of Mechanical Engineer) después de varios años de trabajo se publicó la primera edición en 1926, en la actualidad se compila la información, y se aprueba el 24 de junio de 1999 la edición actualizada.

El código prohíbe las prácticas inseguras, esta sección del código incluye:

- Especificaciones de materiales incluyendo propiedades mecánicas y requerimientos dimensionales.
  - Componentes de diseño y conjuntos armados.
  - Rige para accesorios de tuberías de acuerdo a ANSI.
  - Los compresores se valoran su rendimiento de acuerdo a CAGI.
  - Los circuitos eléctricos se rigen de acuerdo a NEC.
- Norma une-101 149 86(iso 1219 1 e iso 1219 2).

La norma iso 1219 1 e iso 1219 2, se encarga de representar los símbolos normalizados que deberían utilizarse en esquemas hidráulicos y neumáticos.

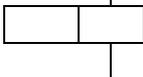
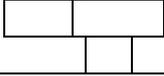
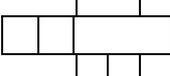
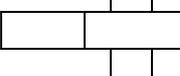
Aunque existen otras normas las principales se resumen a continuación:

**TABLA 1.1** Normas que rigen la neumática

norma	Descripción
une 101-101-85	Gama de presiones
une 101-149-86	Símbolo gráficos
une 101-360-86	Diámetros de los cilindros y vástagos de pistón
une 101-362-86	Cilindro gama básica de presiones normales
une 101-363-86	Serie básica de carrera de pistones
une 101-365-86	Cilindro, medidas y tipos de roscas de los vástagos de pistón

**Fuente:** Andrés Carrión

**TABLA 1.2 TIPOS DE VALVULAS**

<p>Válvula 2/2</p> 	<p>Válvula de dos vías y dos posiciones</p>
<p>Válvula 3/2</p> 	<p>Válvula de tres vías y dos posiciones</p>
<p>Válvula 5/3</p> 	<p>Válvula de cinco vías y tres posiciones</p>
<p>Válvula 4/2</p> 	<p>Válvula de 4 vías y dos posiciones</p>

**Fuente:** Andrés Carrión

## 1.5. Fundamentos físicos de la neumática

### 1.5.1 Gases perfectos

También llamados gases ideales, es un gas que se obtiene en la teoría, consiste en un conjunto de partículas puntuales, que no interactúan entre si en el desplazamiento aleatorio, estos gases para que sean ideales deben cumplir con las leyes de gases ideales, como la ecuación de estado.

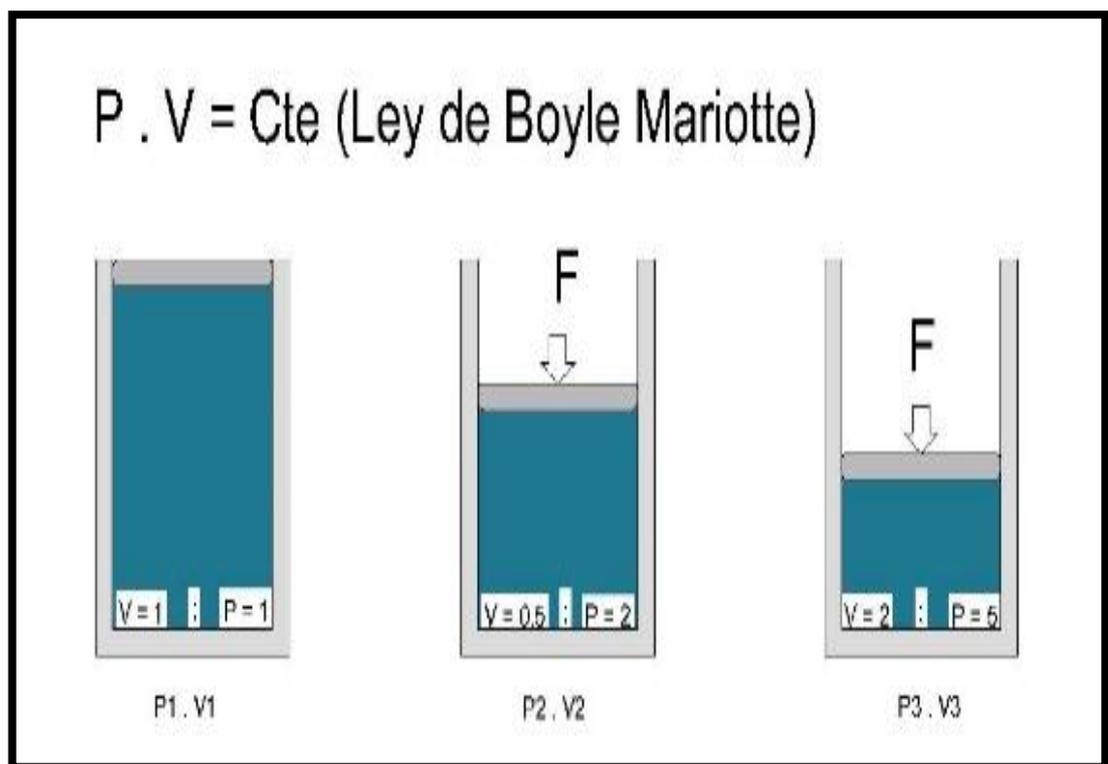
Algunos gases como el nitrógeno, helio, aire, etc. Bajo ciertas condiciones (Temperatura entre 0<sup>0</sup> C y 200<sup>0</sup> C; y presiones menores a 30 bares) se comportan muy aproximadamente a un gas ideal. Además dichos gases para que sean perfectos deben cumplir algunas leyes que se describen a continuación:

### 1.5.2 Ley isotérmica (Ley de Boyle – Mariotte)

Un cilindro que contiene un émbolo móvil, lleno de aire manteniendo la temperatura constante, el volumen se reduce moviendo el émbolo, su presión se aumentará considerablemente, Boyle llegó a la siguiente conclusión de esta ley.

“Si la temperatura  $T$  de cierta masa gaseosa, se mantiene constante, el volumen  $V$  de dicho gas será inversamente proporcional a la presión  $P$  ejercida sobre él, o sea,

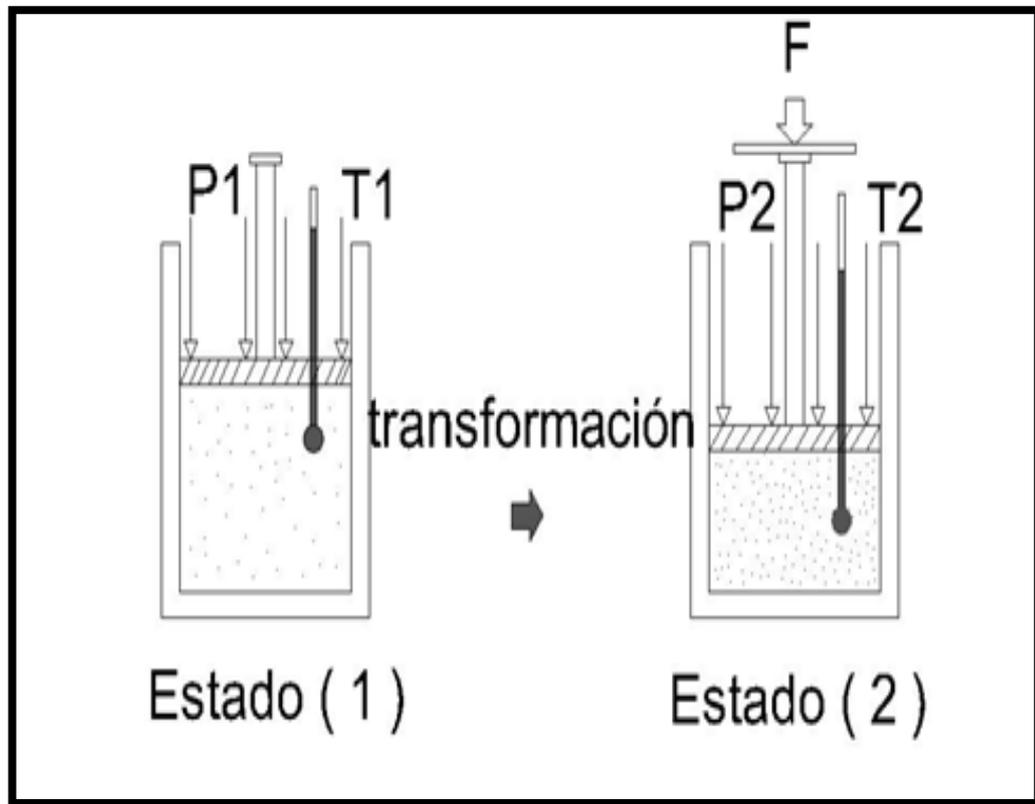
$$P \cdot V = \text{Constante (si } T = \text{ constante)}$$



**Figura 1.1** Ley de Boyle Mariotte

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga, pág. 476)

Se le denomina transformación al cambio que existe en los gases



**Figura 1.2** Transformación

**Fuente:** Andrés Carrión

Cada volumen que se consigue al mover el émbolo tendrá su determinado valor de presión, diagramando en un plano coordinado, la línea que une los puntos se denomina isoterma del gas, dichos puntos se obtienen a temperatura constante del gas.

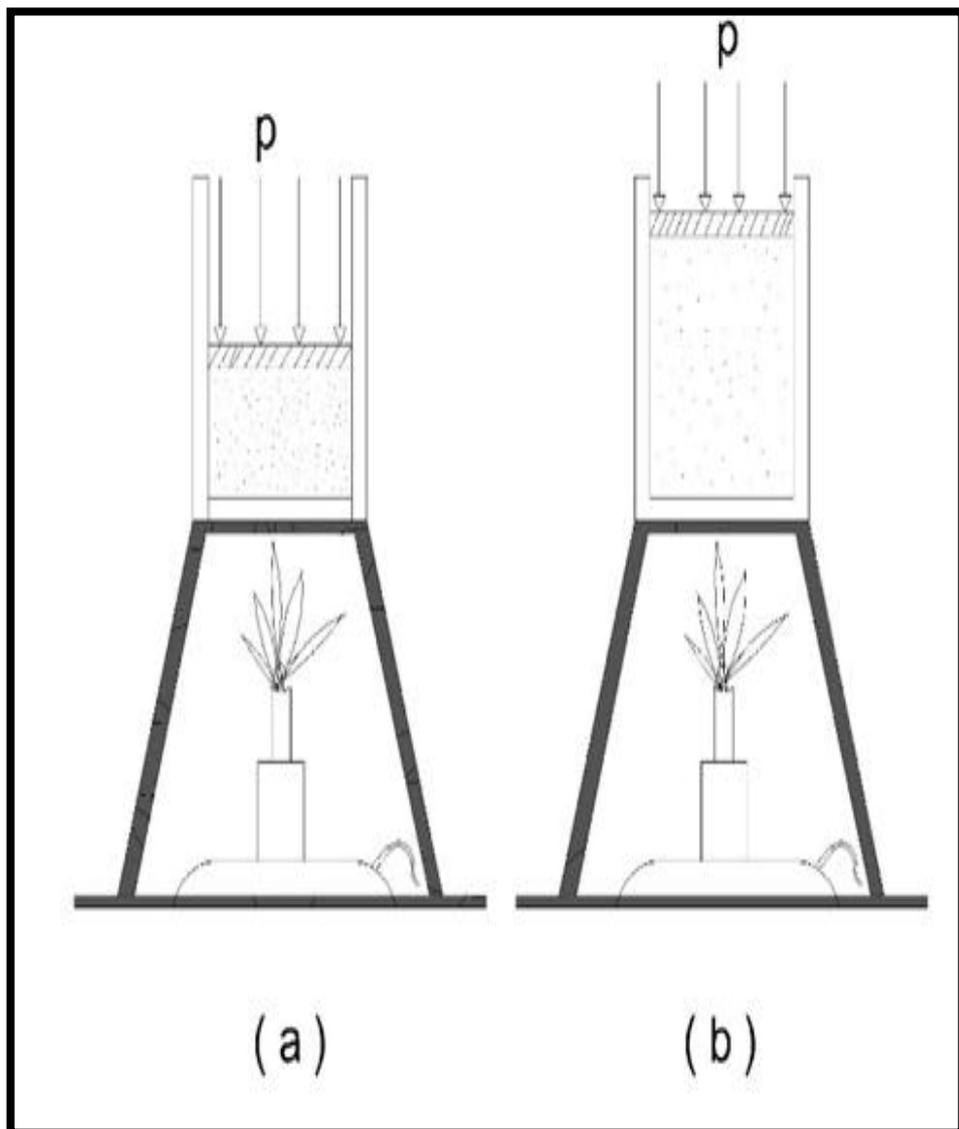
### 1.5.3 ley isobárica (gay- lussac).

En un recipiente se encuentra confinado aire, a través de un émbolo, si calentamos al gas con una fuente externa, manteniendo el émbolo libre la presión es constante, la temperatura del aire irá aumentando mientras el volumen continua también aumentando, Gay-Lussac enunció esta ley de la siguiente manera:

“El volumen  $V$  de determinada masa gaseosa, mantenida a presión constante, es directamente proporcional a su temperatura absoluta  $T$ , así.

“El volumen  $V$  de determinada masa gaseosa, mantenida a presión constante, es directamente proporcional a su temperatura absoluta  $T$ , así. (Alvarenga Beatriz, 2015, pág. 480)

$$V/T = \text{Constante}$$



**Figura 1.3**  $V/T$  Constante

**Fuente:** Alvarenga pág. 480

#### 1.5.4 Ecuación de estado de los gases ideales.

De las leyes anteriores y tomando en cuenta la densidad respecto a la temperatura se concluya que manteniendo constante la presión de una masa de gas, la densidad es inversamente proporcional a su temperatura absoluta.

$$\delta \propto 1/T$$

Si mantenemos constante la temperatura (ley isotérmica Boyle) la densidad es directamente proporcional a la presión.

$$\delta \propto P$$

Finalmente la densidad es directamente proporcional la masa molecular M

$$\delta \propto P$$

En conclusión: desarrollo de la formula (A)

$$PV = mR_{ai}T$$

$R_{ai}$  es una constante del aire que se obtiene de la relación de la constante universal de los gases ( $R_u$ ) con su respectivo peso molecular (M), se puede expresar en diferentes unidades de acuerdo al sistema que se trabaje.

Tabla 1.3

$R_u = 8.31447 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$
$= 8.31447 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$
$= 0.0831447 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K}$
$= 82.05 \text{ L} \cdot \text{atm}/\text{kmol} \cdot \text{K}$
$= 1.9858 \text{ Btu}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
$= 1\,545.37 \text{ ft} \cdot \text{lbf}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
$= 10.73 \text{ psia} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$

Fuente: Alvarenga

### 1.5.5 Análisis de la composición del aire.

El aire se encuentra en la atmósfera con diferentes densidades, dependiendo de la altitud, es un gas incoloro, inodoro e insípido, su composición aproximada es:

78% Nitrógeno.

21% Oxígeno

1% otros gases.

Al analizar el aire de una manera química molecular, la concentración del aire va cambiando como en la tabla 2:

TABLA1.4 Componentes del aire con su respectiva concentración.

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

Fuente: Andrés Carrión

### 1.5.6 El aire comprimido conceptos generales.

El aire atmosférico jamás se encuentra completamente seco, tiene una cierta cantidad de vapor de agua, el porcentaje que representa el vapor respecto al aire seco depende de la presión barométrica y de la temperatura en el medio.

Esta medición es muy importante al hablar de aire comprimido, el sistema tiene ciertos requerimientos de humedad en función del trabajo que realiza, en farmacéutica, alimentos, etc. Es muy importante este factor.

#### 1.5.6.1 Humedad absoluta.

Es la cantidad (masa de vapor de agua) de vapor de agua expresada en (Kg), contenida en un ( Kg, ) de aire seco ( masa de aire seco ). (B)

$$H_{ab} = \text{Kg de vapor de agua} / \text{Kg aire seco} = 0,625$$

De modo que se tiene

$$H_{ab} = 0,625 \text{ Pa} / P - P_a \quad \text{Ec xx}$$

Dónde:

$H_{ab}$  = Humedad absoluta en Kg./ Kg.

$P_a$  = Presión parcial de vapor de agua.

$P$  = Presión total del sistema.

$P_b$  = Presión parcial del aire seco.

#### 1.5.6.2 Humedad de saturación.

Si al aire seco que contiene cero de vapor de agua, se añade una determinada cantidad de vapor de agua, la humedad absoluta irá aumentando, pero este proceso no puede continuar indefinidamente, llega un punto máximo, en el cual el aire ya no puede contener más humedad, a este punto se llama aire saturado o humedad de saturación, si continuamos añadiendo vapor luego de alcanzar la humedad de saturación, este se condensará. Los valores de la humedad de saturación están en función de la temperatura y presión que se encuentren los gases.

**TABLA1.5** Componentes del aire.

<p>Aire  25 °C, 100 k Pa  (Psat, H<sub>2</sub>Oa 25 °C = 3.1698 k Pa)  P<sub>v</sub> = 0 ----- Aire seco  P<sub>v</sub> &lt; 3.1698 k Pa ----- Aire no saturado  P<sub>v</sub> = 3.1698 k Pa ----- Aire saturado</p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Fuente:** Andrés Carrión

**TABLA 1.6** Presión de vapor entre 0 grados centígrados y 374 grados centígrados.

T / oC	P / mmHg	P / hPa	T / °C	P / mmHPa	P / hPa	T / °C	P / mmHg	P / hPa
0	4,58447	6,11213	47	79,709	106,27	95	634,61	846,08
0,01	458780	6,11657	48	83,839787	111,77719	96	658,32811	877,60863
1	4,9286	6,5709	49	88,147	117,52	97	682,78	910,3
2	5,295,23	7,05973	50	92,652794	123,5269	98	707,9785	643,89378
3	5,6961	7,5808	51	97,343	129,78	99	733,95	978,52
4	6,10192	8,13522	52	102,24846	136,32007	99,97436	760,0000	1013,25000

**Fuente:** Andrés Carrión

#### 1.5.6.3 Humedad relativa.

Es relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire comparada con la cantidad máxima que podría tener a una temperatura dada.

Así una humedad relativa del 100% a 23°C significa que el aire contiene la máxima humedad, es decir un valor igual a la masa de vapor que contiene el aire saturado a 23°C, una humedad relativa del 50% a 23 °C indica que el aire en cuestión contiene la mitad de vapor de agua, que podría contener, cuando este aire se encuentra saturado a 23 °C. (D).

#### 1.5.6.4 Temperatura de punto de rocío.

De las tablas anteriores podemos concluir que a menor temperatura baja la presión de vapor saturado, esto significa que en el día de verano con temperaturas altas el aire atmosférico tiene la posibilidad de retener mayor cantidad de vapor de agua, y de hecho así lo hace, en la noche sucede lo contrario, al bajar la temperatura el poder de retener agua en el aire disminuye, llegando a una temperatura en que la humedad relativa es el 100%, es decir la cantidad de vapor de agua es máxima, a esta

temperatura se denomina punto de rocío, al seguir descendiendo la temperatura el vapor comienza a condensarse.

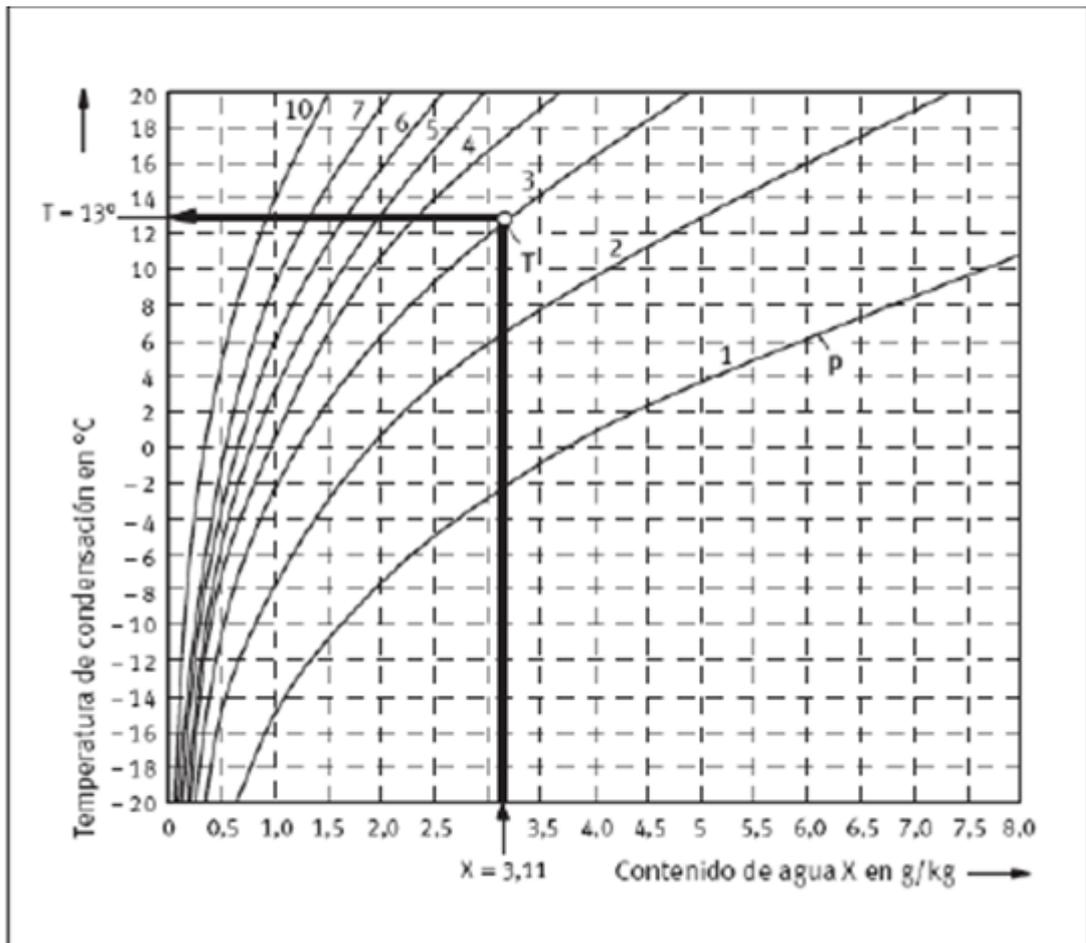
En sistemas de aire comprimido si las temperaturas son inferiores a cero grados centígrados, el vapor condensado forma hielo, limitando considerablemente el caudal y el funcionamiento de los componentes (válvulas de láminas del compresor). Un menor punto de rocío depende de la humedad relativa del aire, de la temperatura y de la presión, cuanta más alta es la temperatura, mas vapor de agua es capaz de retener el aire y cuanta más alta es la presión. Menos humedad contiene el aire.

#### 1.5.6.5 Determinación del punto de rocío.

Para calcular la cantidad de agua que contiene el aire en determinadas condiciones, se emplea la siguiente fórmula. (E)

Por la cantidad de vapor de agua que contiene el aire es función únicamente de la temperatura, para calcular directamente el contenido de agua x en el aire, se puede utilizar el diagrama de Mollier, que se observa en la figura.

## Diagrama de mollier



**Figura 1.4** Diagrama de mollier

**Fuente:** Alvarenga

### 1.5.6.6 Viscosidad

La facilidad con que un líquido se derrama ( se chorrea ) es una indicación de su viscosidad. La viscosidad tiene relación directa con la temperatura, a mayor temperatura disminuye la viscosidad (escurre con mayor facilidad), y a menor temperatura aumenta la viscosidad (escurre con menor facilidad).

En un fluido la medida para producir una unidad de razón de corte entre capas adyacentes del líquido es la viscosidad.

En un fluido la medida para producir una unidad de razón de corte entre capas adyacentes del líquido es la viscosidad. Conforme un fluido se mueve, se desarrolla un esfuerzo cortante, cuya magnitud depende de la viscosidad del fluido. Se define esfuerzo cortante, como la fuerza que se requiere para que la unidad de área de una sustancia se deslice sobre otra. (Robert L. Mott, 2014, pág. 27)

La pérdida de energía de un líquido en movimiento se debe al rozamiento que existe entre capas, dependiendo de la viscosidad del mismo.

Para valorar la viscosidad, se requiere del coeficiente de viscosidad absoluta, también llamada dinámica ( $\nu$ ) y viscosidad cinemática.

La unidad más frecuente de viscosidad absoluta es:

Poise=Kg/segundo

Se utilizan generalmente submúltiplos del poise como por ejemplo el centipoise.

La unidad más común en la viscosidad cinemática es:

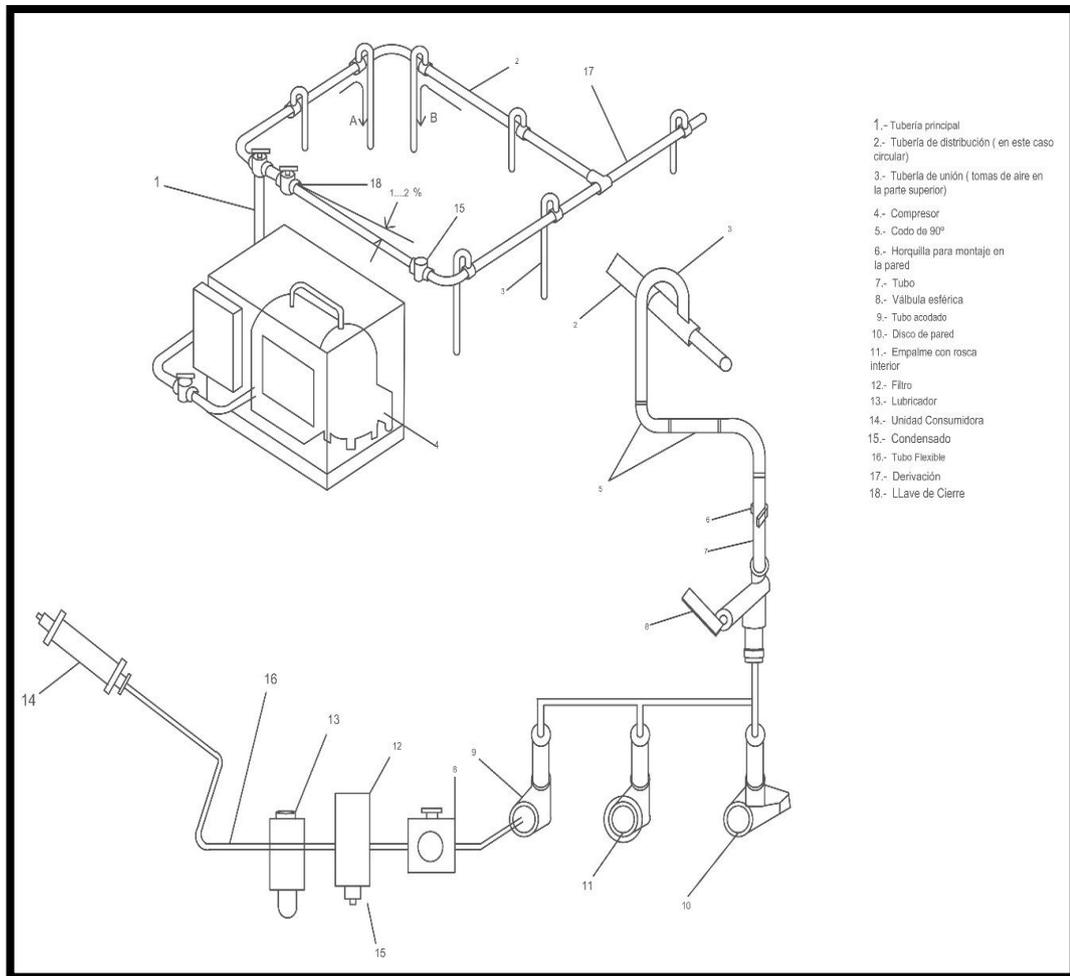
Stoke =  $m^2$  / segundo

Se utiliza generalmente submúltiplo del stoke el más común el centistoke (Cs).

La viscosidad básicamente depende de la temperatura, así en el aceite de un motor de automóvil al arrancar en frío el aceite se encuentra sumamente denso (no escurre), al encender el motor e ir calentando, la densidad irá disminuyendo (escurre de mejor manera), en los gases como el aire sucede lo contrario, al aumentar la temperatura aumenta la viscosidad, ante variaciones no muy perceptibles de presión no existe variación de viscosidad considerable

## Capítulo 2

### 2.1 Componentes de un sistema de aire comprimido



**Figura: 2.1** Componentes de un sistema de aire comprimido

**Fuente:** Andrés Carrión

El sistema de aire comprimido tiene la función de captar aire atmosférico y dotarle de energía a través de su presión, para ello utiliza un conjunto de elementos conectados entre sí.

El compresor se encarga de transformar la energía mecánica en energía potencial de presión, a través de un motor eléctrico, esta energía parte se transfiere al aire y parte se disipa en forma de calor, las tuberías o conductos se encargan de canalizar el aire comprimido hacia los distintos elementos, siendo calculado su diámetro en base al caudal de consumo de las herramientas de equipos que funcionaran en el sistema, los filtros mantienen el aire limpio de impurezas, atrapan en su elemento filtrante las partículas que contaminan el aire.

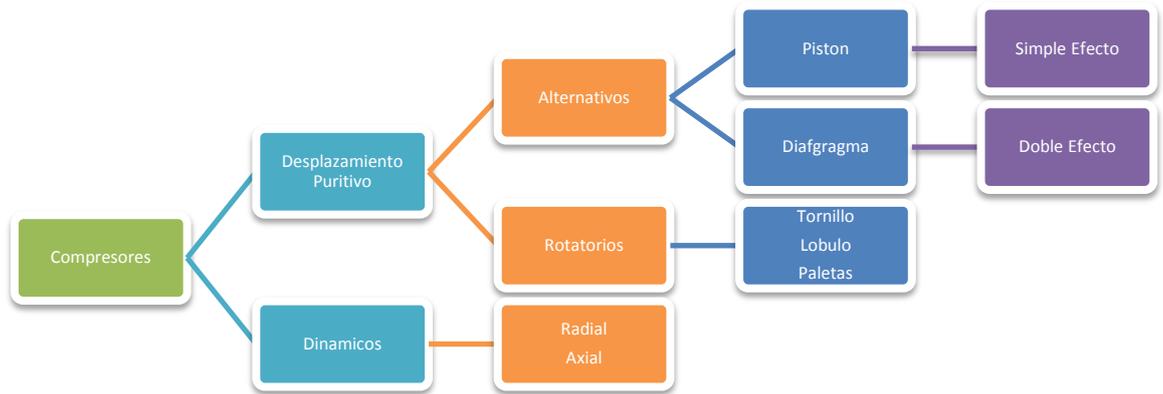
El aire contenido en el sistema posee humedad que podría dañar las máquinas conectadas al sistema, esta humedad debe ser extraída a través de trampas de drenado de agua, finalmente el aire debe ser secado a través de filtros

## 2.2 El compresor.

Es el componente que genera aire comprimido, transformando la energía de un elemento motriz (motor eléctrico, motor a gasolina, etc.) en energía de presión de aire, parte de dicha energía se convierte en presión de aire, el resto se disipa en forma de calor.

La conexión entre el compresor y la línea de transmisión debe hacerse con un elemento flexible, para absorber las vibraciones que produce el elemento motriz del compresor.

## 2.3 Tipos de compresores:



**Figura 2.2.** Mapa conceptual de tipos de compresores

**Fuente:** Andrés Carrión

En general los compresores se dividen en dos grandes grupos:

A: De acuerdo al principio dinámico de fluidos.- al acelerar una masa de fluido se produce una aspiración por un lado y una compresión por el otro como una turbina.

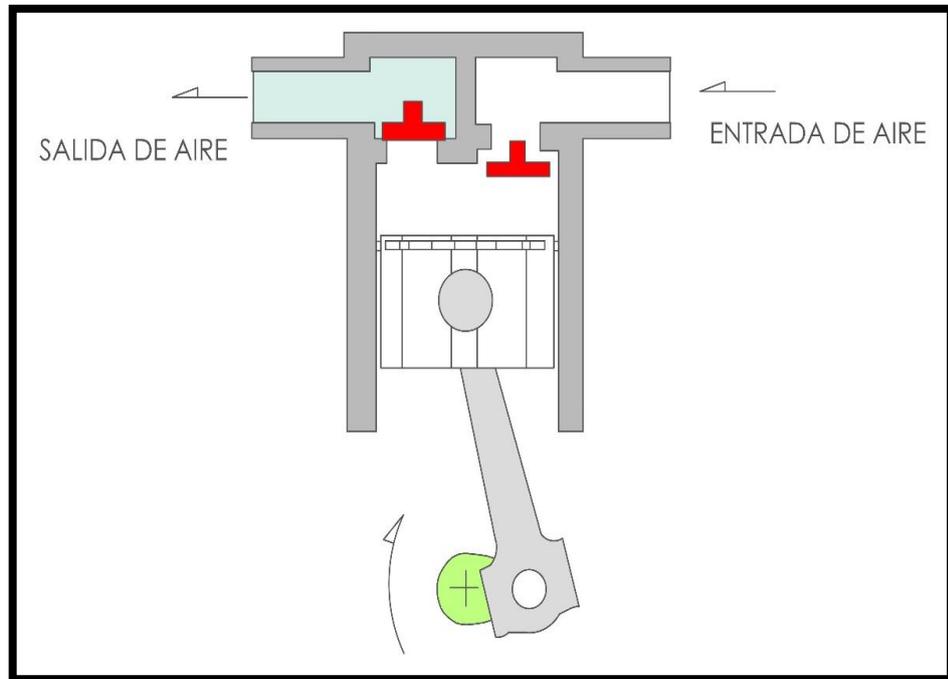
B: Por cambio de volumen, un elemento en movimiento permite que el volumen se encuentre variando, cuando aumenta produce vacío, ingresando el aire al compresor, cuando este disminuye permite la salida del aire con una determinada presión.

### 2.3.1 Compresores de desplazamiento positivo:

Este tipo de compresores se basa en el cambio de volumen durante su funcionamiento, cuando el volumen de la cámara aumenta, produce un vacío que permite la entrada de aire atmosférico, en cambio cuando el sistema disminuye de volumen dentro de una cámara produce en su interior una presión que permite que el aire tenga presión y produzca un trabajo, en éste tipo de compresores tenemos de dos tipos:

### 2.3.1.1 Compresores de pistón:

Son los más utilizados en el medio en la industria, por ser versátiles y de fácil mantenimiento.



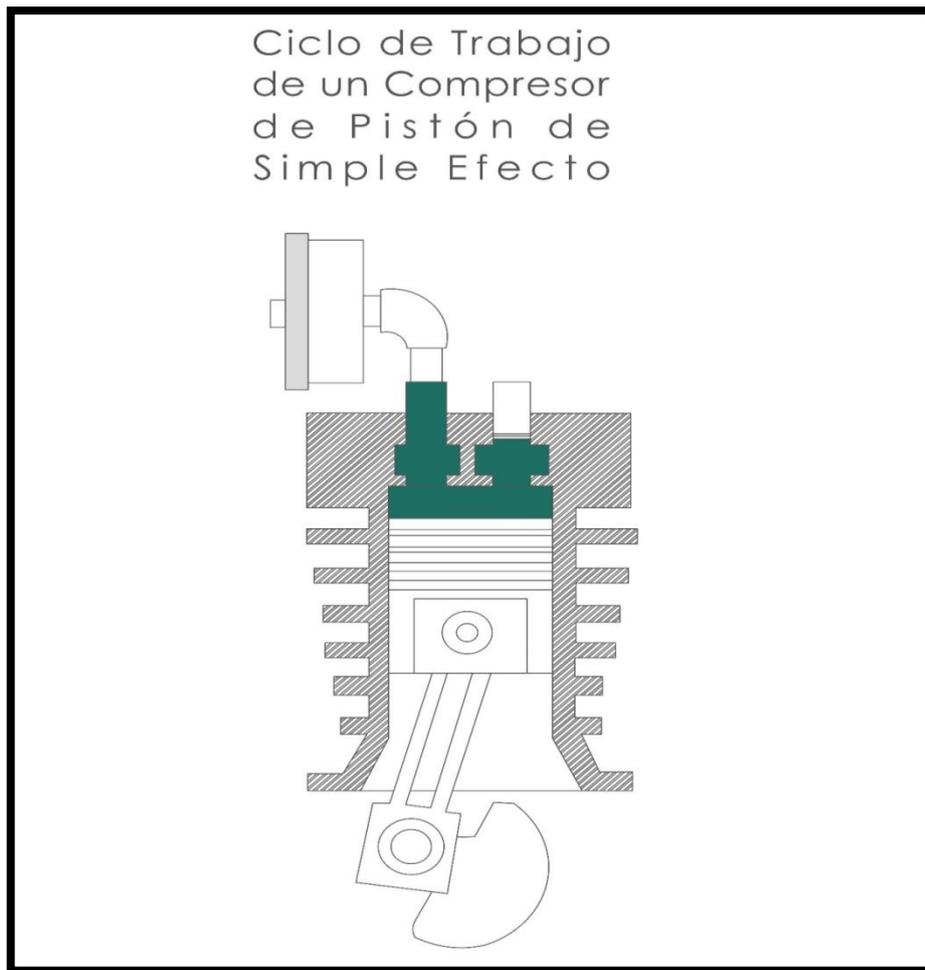
**Figura 2.3** Compresor de pistón simple efecto

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

El compresor de la figura 1.6, Consta de un cilindro principal, dentro del cual trabaja un embolo, biela, cigüeñal, que se encarga de transformar el movimiento circular del motor eléctrico, en movimiento alternativo del pistón, consta además de una cabeza de cilindro dotado de válvulas de admisión y escape.

### 2.3.1.2 Funcionamiento

Como se puede apreciar en la figuras.

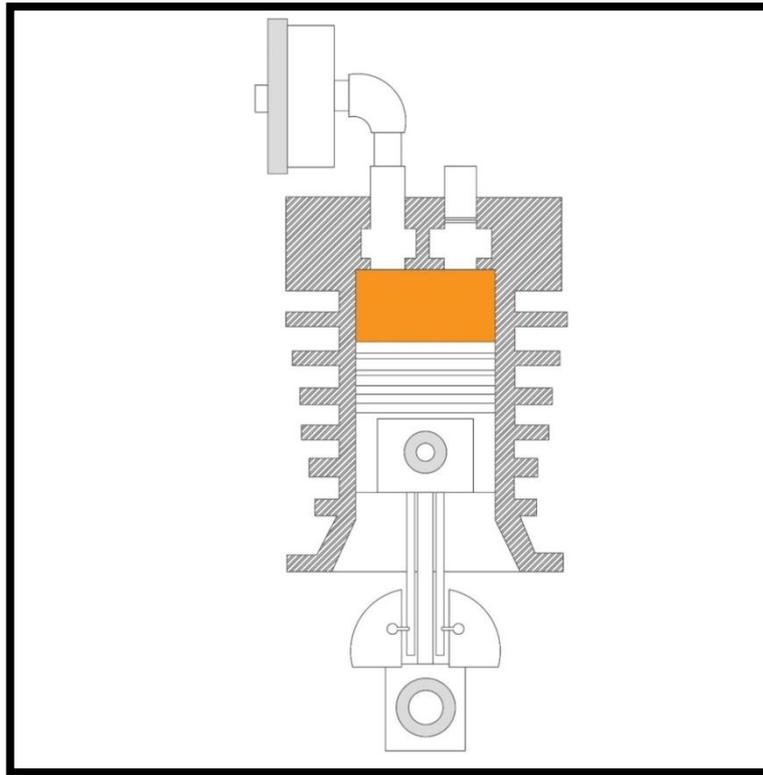


**Figura 2.4** Funcionamiento

**Fuente:** (Alvarenga)

Como se puede apreciar en la figura 2.4 el motor eléctrico obliga al pistón a bajar dentro del cilindro, aumentando el volumen sobre la cabeza del pistón, esto produce un vacío que obliga a fluir el aire llenado la cámara por completo, accionando la válvula de admisión.

En este ciclo la variación de volumen se da por la manipulación del área como se puede observar en la figura 1.8

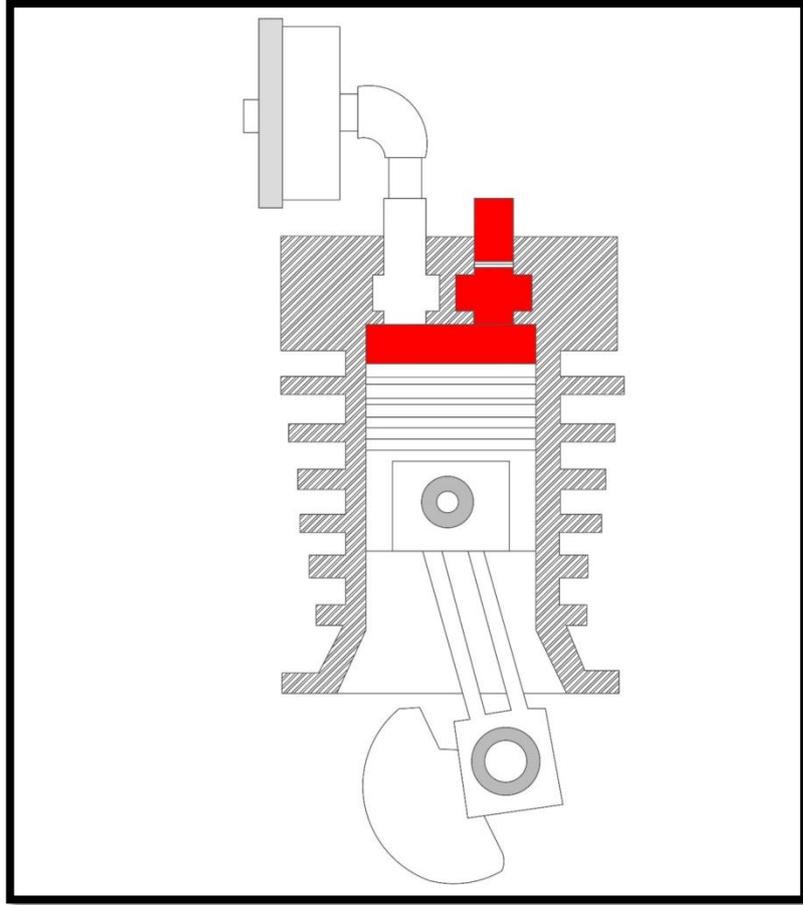


**Figura2.5:** Funcionamiento

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

Una vez que el aire ha sido captado dentro del cilindro, el pistón inicia su movimiento ascendente, transmitiendo energía al fluido, al aumentar su presión este aire es enviado al respectivo depósito.

En este ciclo como muestra la figura 1.9 la carrera completa del pistón ha sido recorrida y se da paso al almacenaje dentro del tanque.



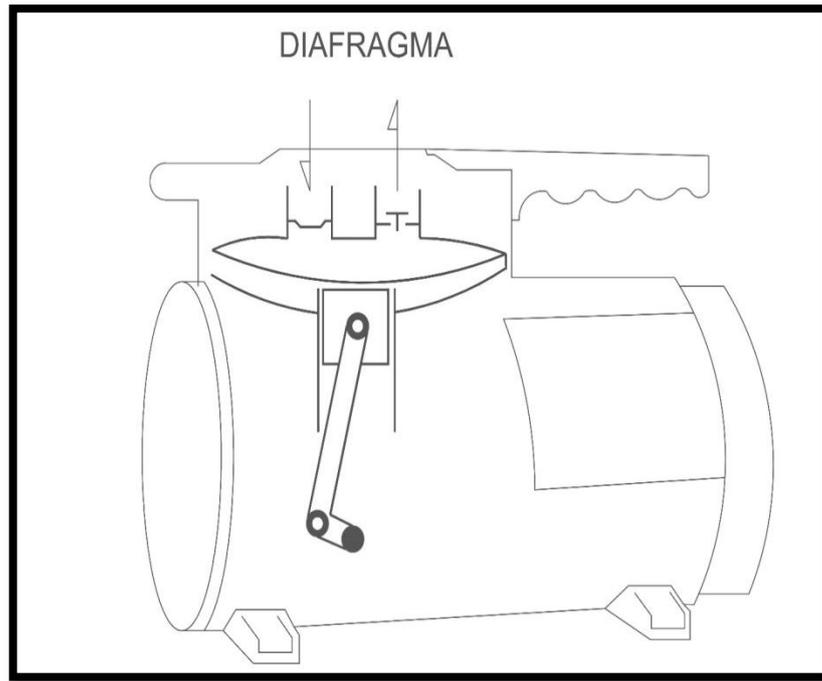
**Figura2.6** Funcionamiento

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

## 2.4 Compresor de diafragma

Pertenece al tipo de compresores alternativos, de cámara variable este cambio de volumen se obtiene de la deformación de una membrana provocada por un sistema de manivela cigüeñal, como indica la figura 1.10.

Compresor de diafragma



**Figura 2.7** Compresor de diafragma

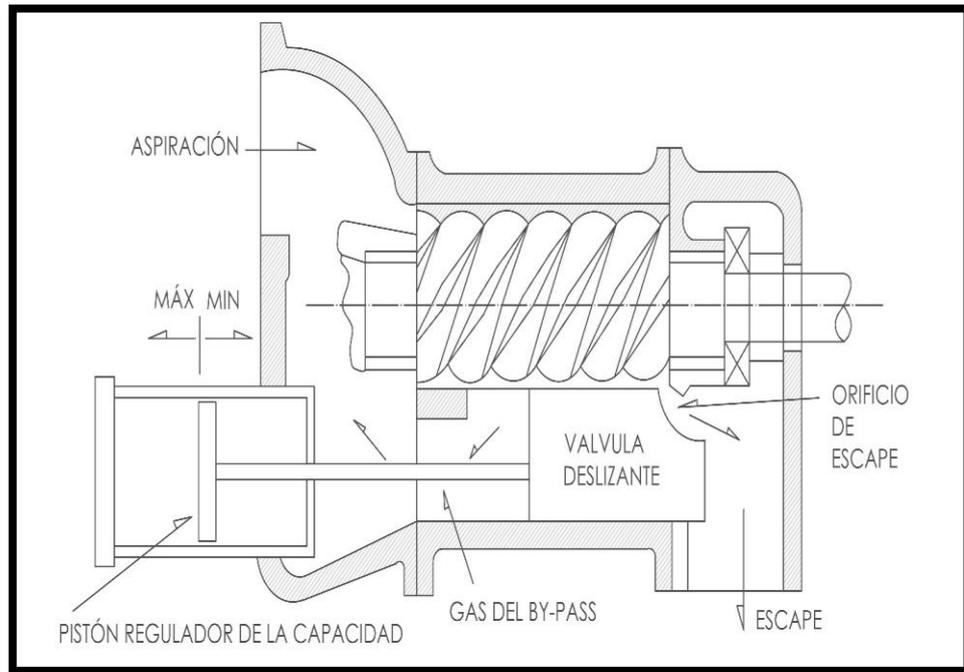
**Fuente:** Andrés Carrión

La entrada y salida de aire se realiza aisladamente del sistema del movimiento mecánico, a través de una membrana en movimiento, por lo cual el aire comprimido es sumamente puro, pudiendo ser utilizada en la industria de la medicina, alimentos, etc. Donde se necesita alta pureza del aire.

## 2.5 Rotativo

Al igual que los compresores reciprocantes, producen el aire comprimido por aumento y distribución de volumen de una manera continua, tenemos en este grupo los siguientes compresores. 2.5 Compresor de tornillo

Este tipo de compresores trabajan con tornillo, el mismo que se acopla en una válvula deslizante, que a través de un pistón, comprime el aire para enviar el aire al exterior, este pistón regula la capacidad del aire que sale al exterior.



**Figura 2.8** Compresor rotativo

**Fuente:** Andrés Carrión

La principal desventaja de este tipo de compresor es el alto costo de mantenimiento, así como su tendencia a corroerse, elevando sobre manera su temperatura en el momento de trabajo.

Este tipo de compresores alcanza velocidades tangenciales de hasta 170 m/s, alcanzando caudales de hasta 50.000 m<sup>3</sup>/h y presiones de hasta 8 atm. Su funcionamiento es sumamente silencioso.

## 2.6. Compresor de paletas rotativo.

Este tipo de compresor consta de una carcasa con maquinado circular, entrada y salida, internamente trabaja un rotor excéntrico cargado de paletas radiales.

El giro constante del rotor hace que se produzca una fuerza centrífuga que mantiene pegadas las paletas al asiento circular en la carcasa.

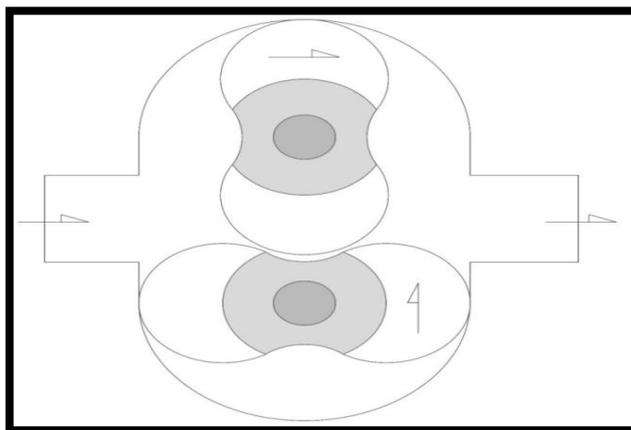
La posición excéntrica del rotor hace que en el momento de iniciar el giro las cámaras entre paletas y paredes del asiento aumenten su volumen, produciendo una aspiración del aire atmosférico, en la segunda etapa las mismas cámaras empiezan la disminución del volumen, permitiendo la salida con presión del aire contenido.

Las principales desventajas de este tipo de compresor es el dimensionamiento reducido permitiendo caber en espacios pequeños, es silencioso y de caudal uniforme.

## 2.7 Compresor de lóbulos

Ambos lóbulos trabajan perfectamente acoplados dentro de la carcasa, su giro hace que se aumente el caudal de la entrada a un depósito de volumen constante, este hecho determina el aumento de presión.

La principal desventaja de este tipo de compresor es la baja presión que alcanza en el tanque de reserva, debiendo ser restringidos a sistemas de baja presión.



**Figura 2.9** Compresor de lóbulos

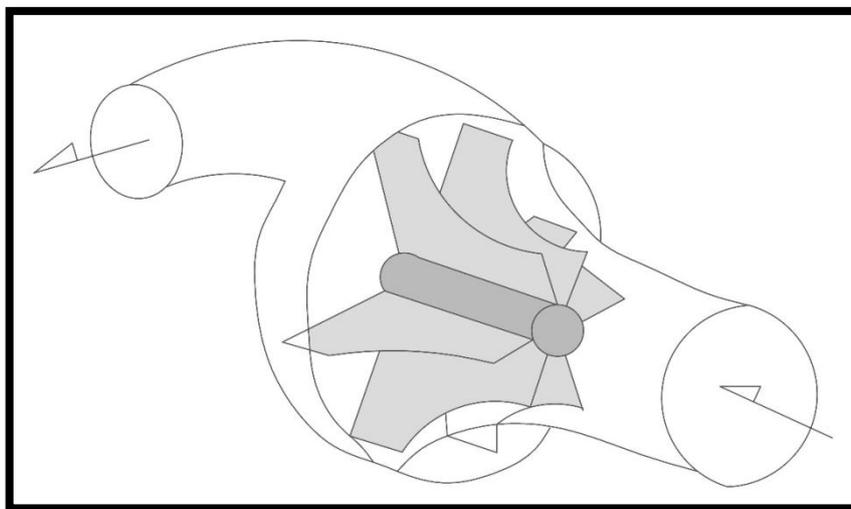
**Fuente:** (Alvarenga)

## 2.8 Dinámicos

Estos compresores se basan en la aceleración que se puede imprimir a las moléculas de aire, este es aspirado por la turbina de entrada a través de su respectiva campana, siendo acelerado a gran velocidad, cuando se descarga la energía cinética adquirida por la aceleración, se transforma en presión dentro del contenedor, luego liberando al sistema.

## 2.9 Compresor radial

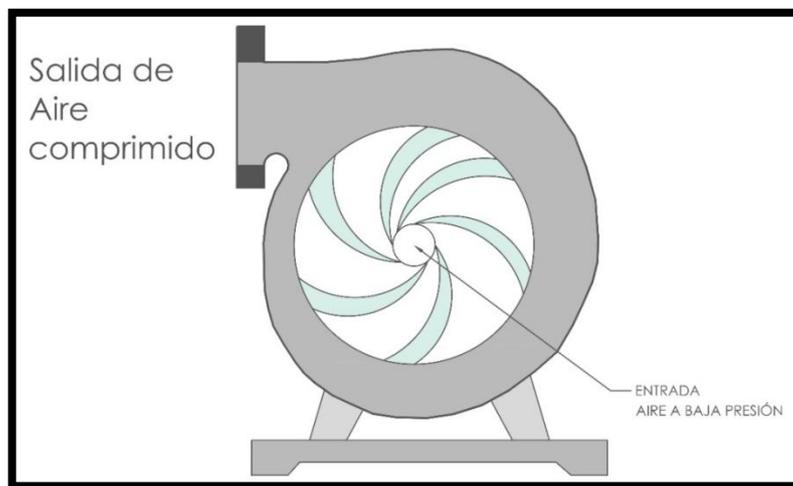
Como se aprecia en la figura 2.10 y 2.11 básicamente este tipo de compresor consta de 3 partes principales. El múltiple distribuido que hace de carcasa del compresor, un rodete central y un difusor de aire, cuando se mueve el eje central al pasar el difusor, el aire es obligado a ingresar por la parte central del múltiple distribuidor, una vez que el aire se encuentra en la cámara central, por la acción de la fuerza centrífuga las moléculas de aire se aceleran adquiriendo energía en forma de velocidad (energía cinética), cuando se dirigen al difusor, disminuye la energía cinética pero aumenta en energía potencial en forma de presión.



**Figura 2.10** Compresor radial, vista 1

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

Diferente vista de el mismo compresor que el de la figura 1.13.

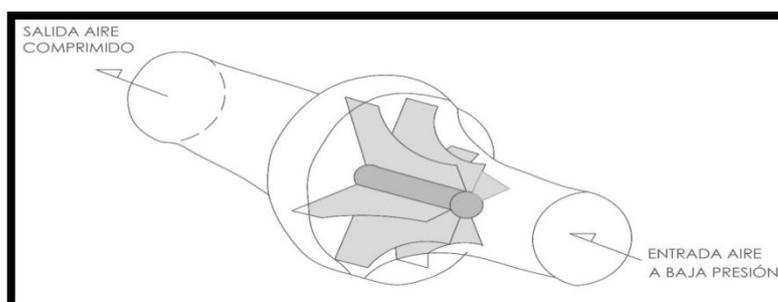


**Figura 2.11** Compresor radial, vista 2

**Fuente:** Andrés Carrión

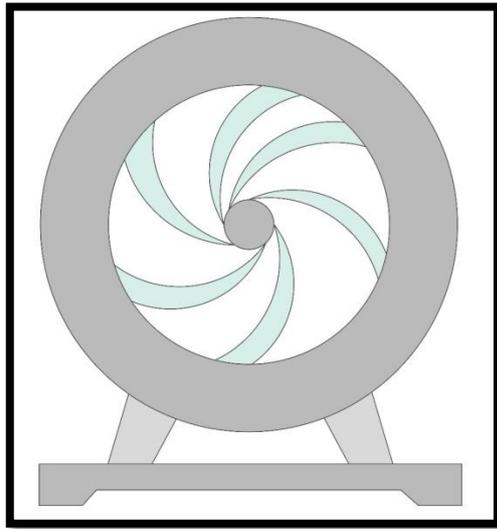
## 2.10 Compresor axial

Figura 2.12 y 2.13 al igual que el radial consta de carcasa entrada y salida paralela al eje central de un rodete de alabes con angulación especial, cuando ingresa el aire aumenta su energía cinética por aceleración imprimida por el eje central, los alabes armados en la carcasa hacen de difusores que desaceleran al aire (disminuyen la velocidad) pero aumenta su energía potencial en forma de presión.



**Figura 2.12** Compresor axial, vista 1

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)



**Figura 2.13** Compresor axial vista 2

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

## Capítulo 3

### 3.1 Etapas de purificación y tratamiento de aire

Cada una de las herramientas neumáticas utilizadas en la industria requieren de ciertos parámetros para su buen funcionamiento, sin el tratamiento respectivo las maquinas podrían sufrir daños, tanto por impurezas como por humedad.

Dependiendo de la industria en la que se instale el sistema de A/C, los contaminantes pueden afectar la salud de los consumidores, como en la industria de alimentos, igualmente los operadores de los sistemas pueden sufrir daños en su salud y luego el ambiente puede ser contaminado.

Debe tenerse en cuenta los siguientes criterios.

- A mayor temperatura del medio ambiente, las moléculas se expanden y en menos masa la que ingresa al tanque, si a esto se agrega la humedad, ingresaría al aire junto con el vapor de agua, debe tratarse que el aire ingrese lo más seco y frio posible.
- El sistema de A/C necesita variación en la presión en base al dimensionamiento de la herramienta neumática, es preferible descentralizar las presiones, con su propio regulador, es mucho más económico.
- Si sufre el sistema variaciones intermitentes de presión es preferible colocar un tanque de reserva antes de la unidad de mantenimiento, las oscilaciones de presión disminuirán.

- Para el condensado (agua) en el sistema, es necesario colocar trampa de agua en la parte más baja de las tuberías.
- Si el sistema necesitar distintas calidades de aire, se podría diseñar con la mayor calidad posible, sin embargo resulta antieconómico prefiriendo preparar el aire de acuerdo a las calidades.

Las partículas extrañas contenidas en el aire, podrían causar problemas y daños tanto en el compresor como en el equipo neumático utilizado, para ello se procede con un sistema que depura el aire comprimido en:

### 3.2 Filtrado de aire

Es necesario un filtro o un sistema de filtrado que garantice un A/C libre de contaminantes a las diferentes tomas de consumidores, dentro de los contaminantes más comunes tenemos: Vapor de agua, aceite, polvo, neblinas, olores, partículas sólidas, estos pueden atacar al sistema.

Para una buena eliminación de estos contaminantes no siempre es suficiente un filtro primario aunque sea fino, generalmente se requiere una secuencia de filtros del más grueso al más fino.

#### 3.2.1 Clasificación de filtros

La norma ISO 8573-1 Regula la cantidad máxima de contaminantes que puede contener el aire comprimido.

**Tabla 3.1** Cantidad de contaminantes

Clase	Impurezas Sólidos	Humedad Punto de Roció	Máximo contenido de aceite (mg/m <sup>3</sup> )
0	≤ 10000		≤ 0,10
1	≤20000	≤ -70	≤ 0,1
2	≤400000	≤ -40	≤ 1
3		≤ -20	≤ 5
4		≤ +3	≤ 6
5		≤+7	

**Fuente:** Andrés Carrión

La calidad que deberán cumplir los filtros se basan en estas normas.

Básicamente los filtros se clasifican en función del elemento filtrante utilizado, teniendo varios materiales como: Papel, rejillas metálicas, espumas, mallas de nailon, etc. Estos elementos deberán ser cambiados periódicamente, en base a un programa de mantenimiento, no hacerlo significaría el taponamiento del elemento, con la consecuente baja de presión y caudal en el sistema.

### 3.2.2 Filtros de carbón activado

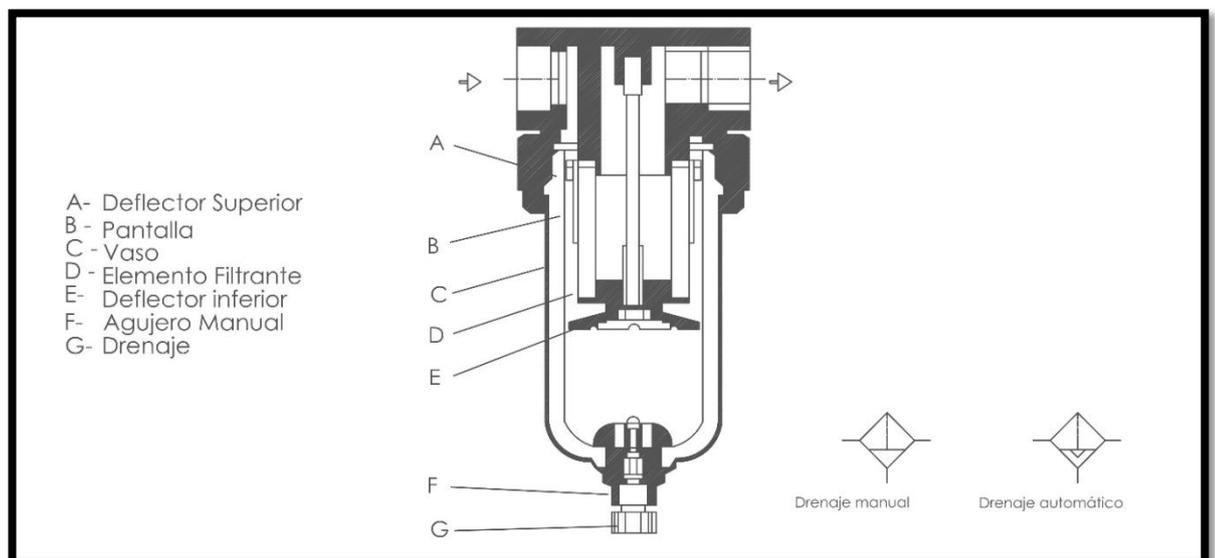
Básicamente son contruidos para eliminar o remover otros, sabores y vapores orgánicos, en su constitución interna poseen carbón activado q en base al fenómeno de adsorción remueven los contaminantes mencionados.

#### 3.2.1. Filtros de aire con trampa de humedad

Descripción: el sistema de deflectores que posee este tipo de filtro hace que sea de gran eficiencia para la humedad, las partículas sólidas que posee el aire comprimido son totalmente separadas, la caída de presión es depreciable, gracias a la gran superficie del elemento filtrante.

Funcionamiento: Como se indica en la figura 3.1, el aire comprimido ingresa la filtro por la entrada, lo primero que encuentra a su paso es el deflector A, por efecto de la velocidad del aire y la forma del deflector, produce un remolino alrededor del vaso C, por la fuerza centrífuga producida en la mezcla aire humedad, se produce una fuerza centrífuga radial hacia afuera, por tener mayor peso la humedad, es lanzada hacia las paredes del vaso donde condensa formando gotas de agua, que regulan por las paredes de la campana hasta el sangrador donde se evacua.

Plano en corte de un filtro



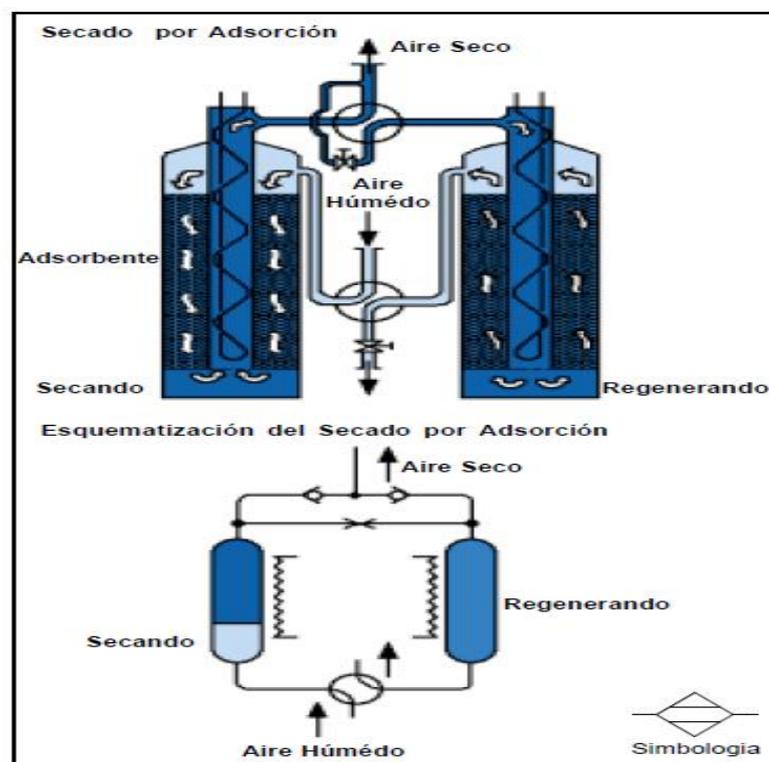
**Figura 3.1** Filtro

**Fuente:** Andrés Carrión (Alvarenga)

Pero existe aire que pasa directamente por la pantalla B y el elemento filtrante D, antes que salga del filtro nuevamente se produce el fenómeno descrito, quedándose humedad en el Venturi E, que gotea hacia el agujero de desfogue F, por acción de la fuerza gravitacional, donde puede ser drenado manual o automáticamente

### 3.3 Secado por adsorción

Su fundamento físico (adsorción) consiste en el atrapado de una sustancia por parte de otra, en este caso el agua es atrapada por el cuerpo sólido poroso, debido a la atracción molecular que ejerce el cuerpo poroso al agua por desbalance molecular, por la sustancia sólida ( $\text{SiO}_2$ ) llega a saturarse es decir llega a equilibrar su fuerza de atracción, a través de un proceso de aire caliente puede regenerarse. El proceso de adsorción se lleva a cabo en un procesador como el indicado en la (figura 3.2)



**Figura 3.2** Secado por adsorción

**Fuente:** Andrés Carrión

El aire húmedo ingresa por la parte superior del filtro, el vapor de agua queda impregnado en el filtro adsorbente, luego pasa al centro seco, este ciclo tiene un determinado tiempo de duración, llegando a contaminarse la sustancia central, por

esta razón tiene un filtro de regenerado que con aire caliente o niquelina eléctrica puede ser utilizado nuevamente.

#### 3.4 Secado por absorción.

El cloruro de calcio, el cloruro de litio, Dry-0-lite, Cloruro de sodio en la forma más simple, este agente se encarga de atrapar la humedad, siendo muy sano su recambio para asegurar un proceso eficiente. Aproximadamente 10 kg de Cloruro de sodio pueden atrapar 14 kg de condensado, al punto q se condensa el vapor es de 15 PC, otros agentes que pueden ser utilizados como secadores son: Glicerina, ácido sulfúrico, sales de magnesio y tiza sin humedad.

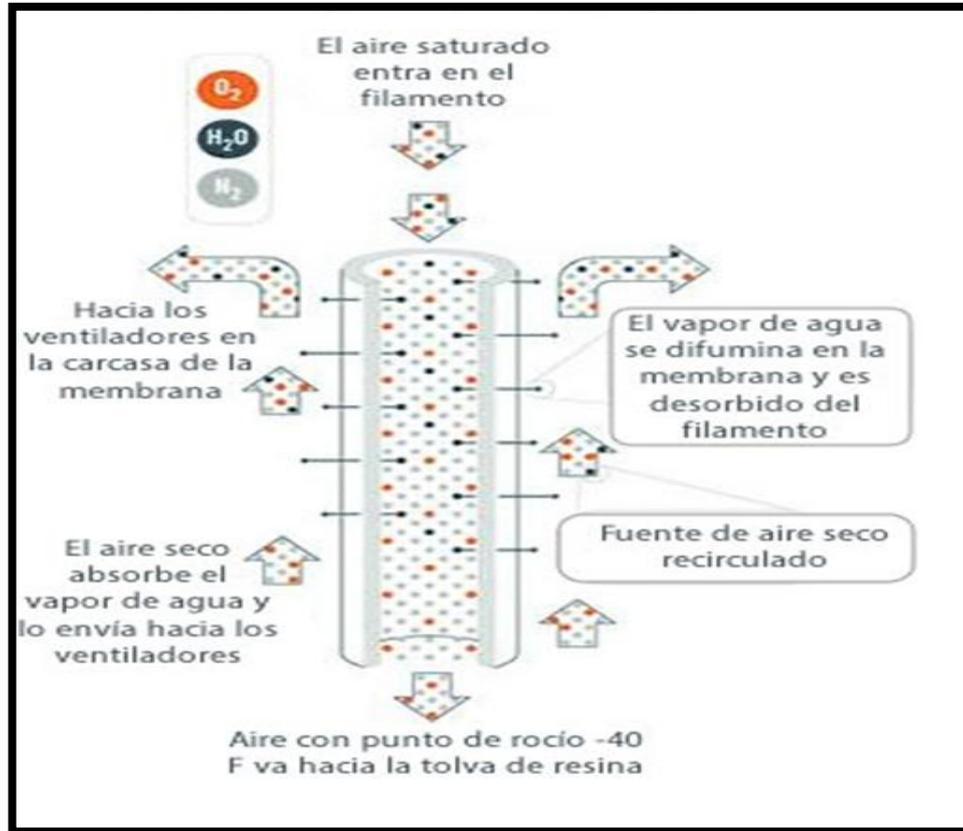
El proceso se lleva a cabo en el sistema prensado en la figura 3.1. El aire húmedo ingresa por la parte inferior del depósito, obligándolo a circular por los elementos deshidratadores enunciados, el agua atrapada por ellos cae al fondo del recipiente, formando un condensado que se acumula, siendo necesario el drenaje en forma periódica.

Igual mente debe ser chequeada y cambiada cada cierto tiempo la sustancia deshumectante.

#### 3.5 Secado de membrana

El sistema se basa en la diferencia de presión que tiene el vapor y el aire seco, mientras el aire saturado circula por un lado de la membrana, por el otro circula un aire seco hacia unos ventiladores, la diferencia de presión creada hace que el agua sea dirigida hacia la circulación de aire seco, siendo notablemente disminuida la humectación del aire, el sistema se puede visualizar en la figura 3.2.

## Secado de membrana



**Figura 3.3** Secado de membrana

**Fuente:** Andrés Carrión

### 3.6 Lubricación del aire del sistema

La función principal de un sistema de aire comprimido es transmitir energía a una máquina para generar un trabajo, este consiste en el movimiento de piezas mecánicas, que producen fricción entre ellas, necesitando una lubricación adecuada para su perfecto funcionamiento.

La lubricación que tiene el compresor y que puede escapar a las cañerías no es suficiente ni adecuado para la lubricación de elementos, tendría más bien un proceso

abrasivo por tratarse de aceite usado y expuesto a altas temperaturas, siendo preferible eliminarlo del sistema.

Igualmente en algunas industrias como la farmacéutica y alimentos no es conveniente la circulación en el sistema.

El lubricante suministrado a las máquinas en movimiento deben tener características especiales y deben medirse en cantidades acordes al caudal del consumo de aire, cumpliendo estándares de normas respectivas.

### 3.7 Características de lubricantes empleados en sistemas de aire comprimido

La mayoría de aceites se obtienen a través de la destilación del petróleo, aunque en la actualidad se tienden a los aceites sintéticos.

Los aceites de acuerdo a su origen se clasifican en:

#### 3.7.1 Nafténicos

En otras sus principales características son:

Densidades elevadas, tiende a formar barnices con mayor facilidad, no es tan estable en la formación de óxido, alto índice de viscosidad, el punto que fluye más bajo.

En comparación con los parafínicos, el tipo de carbón que posee es menos duro, y su poder disolvente es menor. No siempre son adecuados para la utilización en sistemas de aire comprimido, problemas en el funcionamiento de válvulas, pistones, rines, etc. El contenido del aditivo en aceites le da características especiales para realizar su función.

### 3.7.2 Parafínicas

Se caracterizan por: alto punto de fluidez, baja densidad, mayor facilidad de formar barnices, funciona muy bien ante la formación de óxido.

El comportamiento que tienen dos aceites aparente mente iguales, pueden ser distintos ante materiales distintos, depende de los aditivos que contienen y su origen.

El principal componente o aditivo que debe contener un aceite apropiado para los sistemas de aire comprimido son. Los antioxidantes, que previenen oxidación de las partes móviles que trabajan, o compontes propios del sistema los sellos o retenedores que trabajan en los equipos del sistema de aire comprimido, se añade aditivos que disminuyen la contracción, dilatación o ablandamiento de estos sellos.

### 3.8 Aceites recomendados

Tablas 3.2, 3.3, 3.4, 3.5.

**Tabla 3.2 y 3.3 Modelos y materiales**

<b>Modelos</b>	1/4", 3/8", 1/2" e 3/4" NPT ou G
<b>Caudal (l/min)</b>	Ver Tabla
<b>Caudal Mínimo para Lubricación</b>	14 l/min a 7 bar
<b>Rango de Temperatura</b>	0 a +52°C (Contenido de Policarbonato) 0 a +80°C (Contenido Metálico)
<b>Rango de Presión</b>	0 a 10 bar (Contenido de Policarbonato) 0 a 17 bar (Contenido Metálico)
<b>Capacidad del Vaso</b>	0,08 l (Serie 06) 0,16 l (Serie 07)
<b>Presión Secundaria</b>	0,07 a 4,0 bar (Baja presión) 0,14 a 8,5 bar (Presión normal) 0,35 a 17,0 bar (Alta presión)
<b>Peso</b>	0,6 kg (Serie 06) 1,2 kg (Serie 07)

#### **Materiales**

<b>Cuerpo</b>	Zamac
<b>Vaso</b>	Policarbonato Transparente Zamac (Vaso Metálico)
<b>Protector del Contenido</b>	Aço
<b>Anillo de Fijación del Vaso</b>	Plástico (Policarbonato Série 06/07 e Metálico Série 06) Aluminio (Vaso Metálico Série 07)
<b>Sellos</b>	Buna-N
<b>Visor del Vaso Metálico</b>	Poliamida

**Fuente:** Andrés Carrión

**Tabla 3.4** Aceites recomendados

<b>Aceites Recomendados</b>	
Shell .....	Shell Tellus C-10
Esso .....	Turbine Oil-32
Esso .....	Spinesso-22
Mobil Oil .....	Mobil Oil DTE-24
Valvoline .....	Valvoline R-60
Castrol .....	Castrol Hyspin AWS-32
Lubrax .....	HR 68 EP
Lubrax .....	Ind CL 45 Of
Texaco .....	Kock Tex-100

**Fuente:** Andrés Carrión

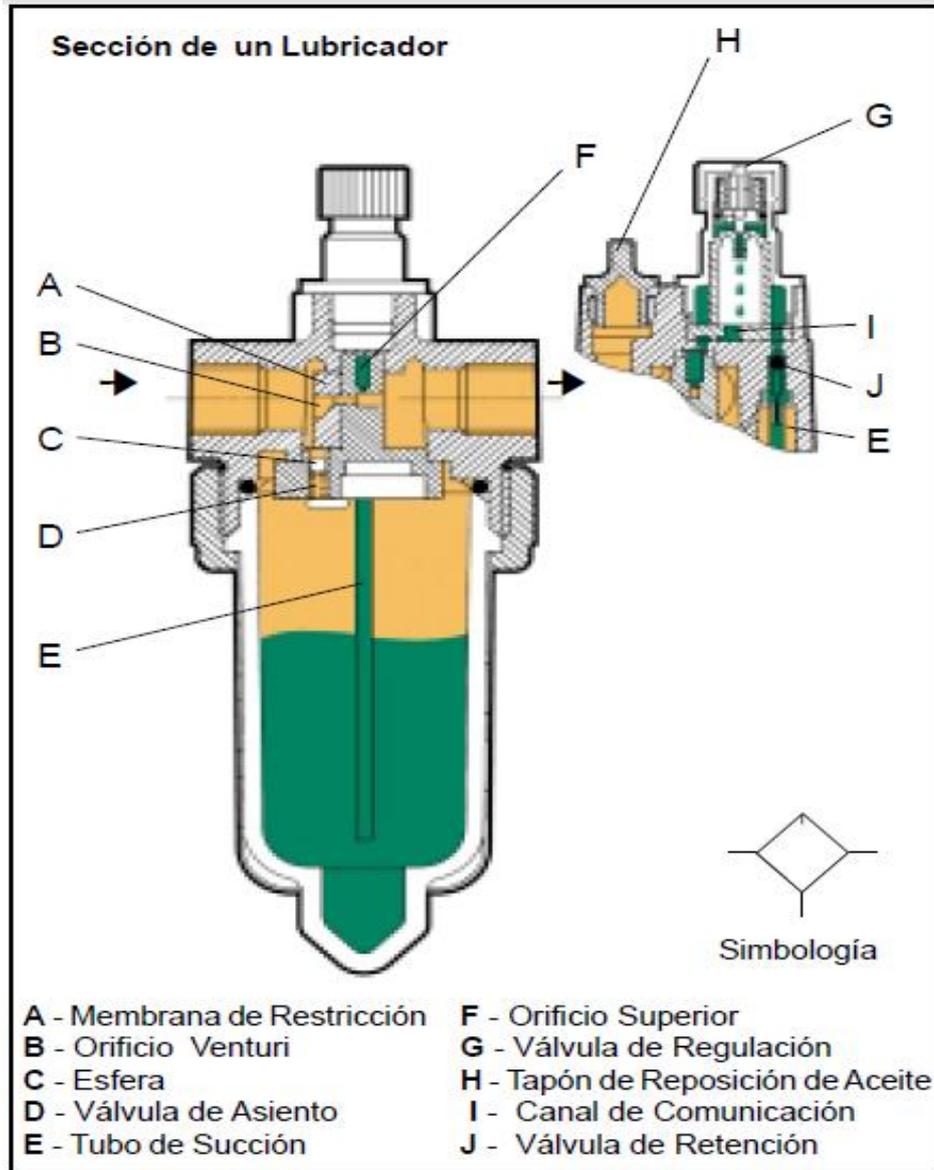
**Tabla 3.5** Caudal

<b>Caudal (Presión Primaria 7 bar de salida libre hacia la atmósfera)</b>						
	SCFM		l/min		Cv	
<b>Modelos</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>06</b>	<b>07</b>	<b>06</b>	<b>07</b>
1/4"	100	ND	2.832	ND	1,78	ND
3/8"	220	230	6.230	6.513	3,93	4,11
1/2"	305	310	8.636	8.778	5,45	5,53
3/4"	ND	320	ND	9.061	ND	5,71

**Fuente:** Andrés Carrión

Funcionamiento.- El sistema se basa en el efecto Venturi para proporcionar una cantidad adecuada de lubricante en función a la cantidad y velocidad que el aire pase por él. Como se puede observar en la figura 3.4, se presenta un típico lubricador.

### 3.9 Lubricador



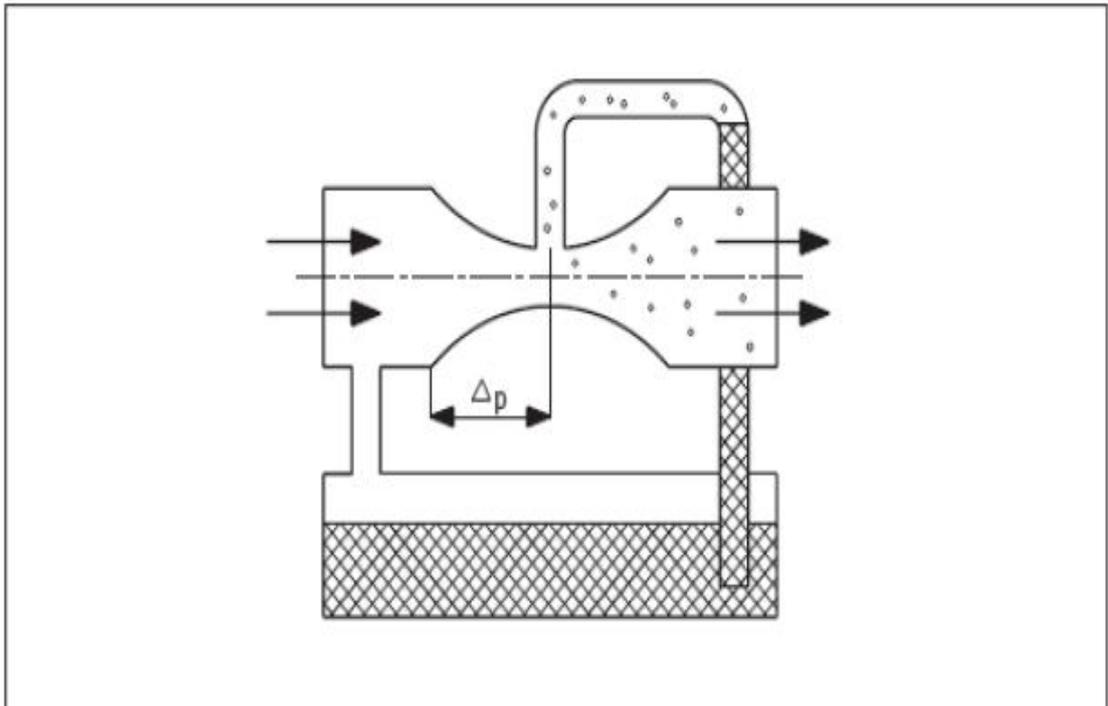
**Figura 3.4** Partes de un lubricador

**Fuente:** Andrés Carrión (Ronald V. Giles, 2015)

Se basa en el funcionamiento del Venturi figura 3.5, cuando una corriente de aire pasa por un canal que se estrecha por mantenerse el flujo del caudal, igual en todo el

recorrido es necesario que la velocidad aumente, bajando la presión en la parte más estrecha.

Venturi



**Figura 3.5** Venturi

**Fuente:** Andrés Carrión (Ronald V. Giles)

En el lubricador el aire que ingresa por A, sufre un estrechamiento en A, que produce un aumento de velocidad y una baja depresión en A, lo que produce que el aceite sea succionado por el tubo E, llegando hasta la válvula manual I que controlara el goteo de aceite. (Ronald V. Giles, 2015, pág. 44)

En el lubricador el aire que ingresa por A, sufre un estrechamiento en A, que produce un aumento de velocidad y una baja depresión en A, lo que produce que el aceite sea

succionado por el tubo E, llegando hasta la válvula manual I que controlara el goteo de aceite.

Al caer el aceite por la figura F, se encuentra con un flujo de aire que vuelve a mezclarse por gotas de aceite que caen por G, la velocidad del flujo hace que se pulverice, se mezcla con el aire y lubrique las partes móviles.

### 3.10 Válvula reguladora de presión

Los consumidores de un sistema de aire comprimido, necesitan un caudal y presión determinados en función al trabajo que desempeñan, si el sistema tiene una presión excesiva a la de trabajo hace que se desperdicie energía, por otro lado si varios consumidores trabajan simultáneamente, necesitando una presión en dicho punto se baje monetariamente, necesitando una presión mayor debido al pico obtenido al momento, todo esto hace necesario la utilización de un regulador de presión, que cumple las siguientes funciones:

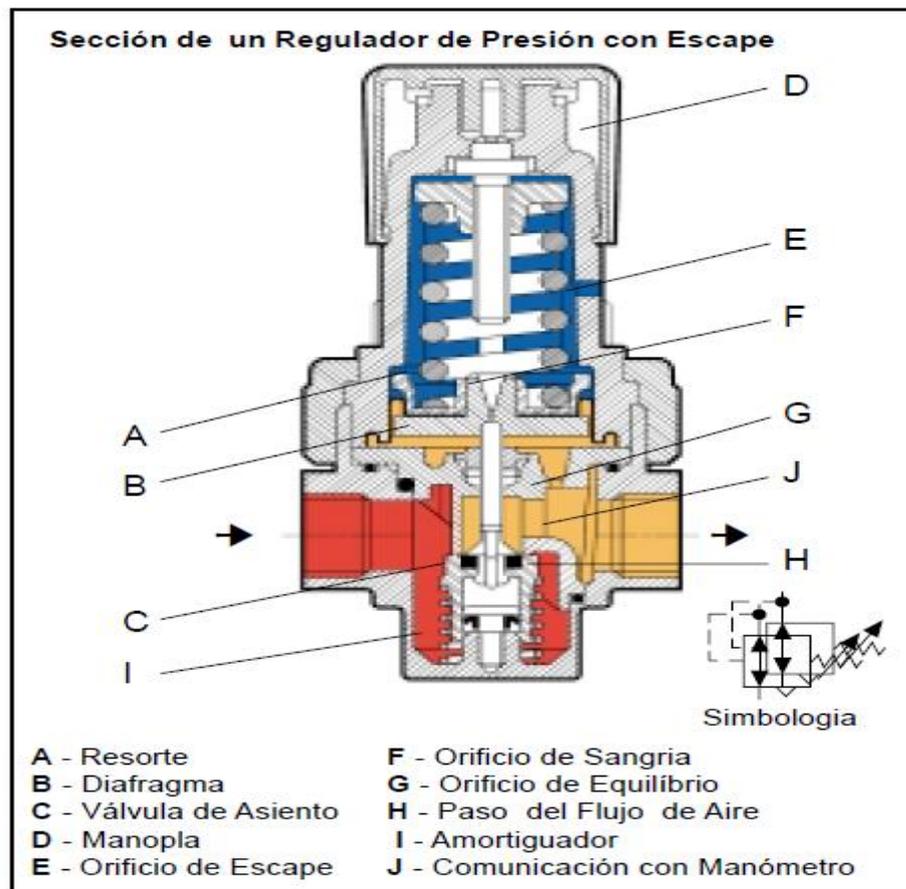
- Debe servir como válvula de seguridad en caso de algún problema puntual.
- Es necesario que la presión que se mantiene en las tuberías primarias sea algo superior a las secundarias. Para que cumpla la función de regulador de mantener una presión constante, aunque existen picos de bajas de presión.
- Todo equipo que se conecte al sistema de aire comprimido necesita un caudal de trabajo que debe ser compensado por el regulador en forma inmediata.

Funcionamiento:

La flecha indica la entrada de aire en la figura 3.6 pudiendo salir si el asiento de válvula esta estuviese abierto (c) girando totalmente la manija de regulación en sentido anti horario, el resorte ( E) se encuentra sin compresión, cuando se gira la

perilla en sentido horario, se ejerce una presión sobre el resorte(E) haciendo que el diafragma esté equilibrado a través del orificio (G) cuando el regulador está funcionando si la presión regulada es excedida por una presión secundaria, abriendo el orificio de sangría (F) conteniendo en el diafragma. El resto de aire fuga al medio ambiente a través del orificio (E) en la tapa del regulador. Para una salida de presión pre regulada y un proceso de apertura-cierre de la válvula de asiento (C), se ocasiona cierta vibración eso puede ser evitado con algún regulador que llevan un amortiguador.

### REGULADOR DE PRESIÓN



**Figura 3.6** Regulador de presión de escape

**Fuente:** Andrés Carrión

El dispositivo compresor (C-J) permite montar el regulador en cualquier posición y confiere al equipo un tiempo de respuesta corto.

La presión de salida es alterada por la actuación sobre la rueda de regulación, no importa si es para disminuir- cuando la presión secundaria regulada es mayor y el resto del aire de esta regulación, esta es expulsada a través del orificio (F) hasta que la presión requerida sea obtenida el incremento, el aumento se obtiene normalmente actuando la rueda de regulación el resorte A de manera ya mencionada y a través de un manómetro (J) se registran las presiones secundarias reguladas.

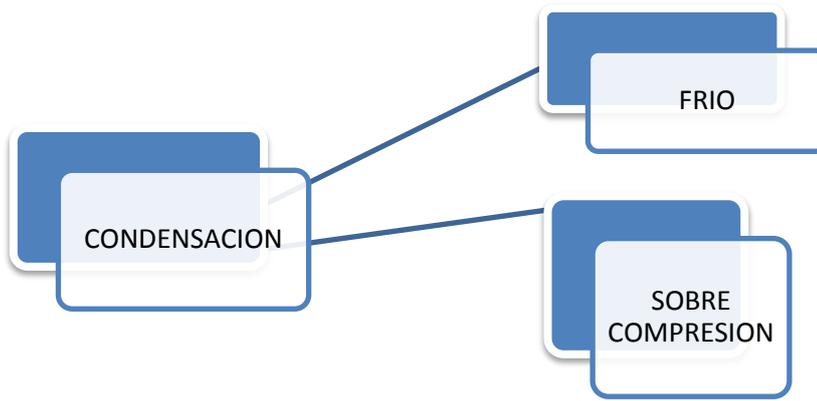
### 3.11 Secado de aire.

Como se había estudiado al inicio de esta tesis, el aire contiene una cierta cantidad de vapor de agua, que llegada a ciertas condiciones puede llegar a condensarse, es decir en su punto crítico, de presión y temperatura, se transforma el vapor en agua líquida, la cual es inconveniente que trabaje en un sistema de aire comprimido, (el agua no se comprime), por esta razón es necesario que se extraiga toda la humedad posible.

El agua en cañerías puede producir la oxidación interna de los tubos, así como de las herramientas y el equipo utilizado en la misma, el contenido máximo de agua que puede contener el aire está en función de la temperatura, si al aire se le agrega más humedad luego de estas condiciones, esta se condensara.

### 3.12 Modo de secado de aire:

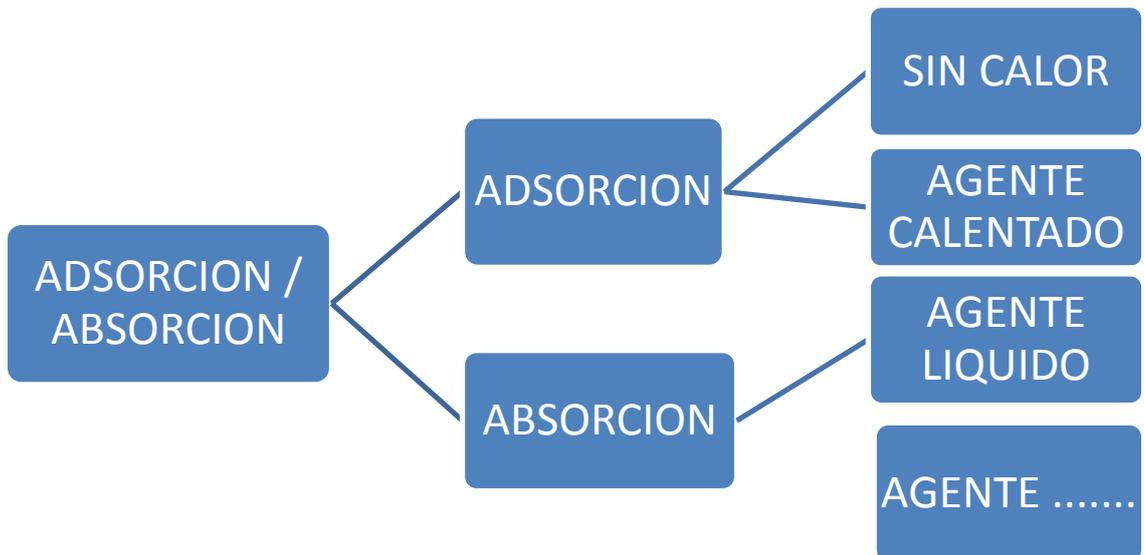
#### 3.12.1 Condensación



**Figura 3.7 Mapa conceptual**

**Fuente:** Andrés Carrión

3.12.2 adsorción/absorción



**Figura 3.8 Mapa conceptual** Adsorción y absorción

**Fuente:** Andrés Carrión

### 3.12.3 Difusión



**Figura 3.9** Fuente: Andrés Carrión

### 3.13 Secado por refrigeración

Como se explicó el contenido de humedad en el aire está en función de la temperatura, a mayor temperatura mayor cantidad de aire y viceversa, incluso se llega a una temperatura del punto rocío a la cual la humedad se condensa y aparecerá agua en forma de gotas.

Si la temperatura se baja lo suficiente, el contenido de humedad es mínimo, en una sola etapa no se logra retirar la humedad del aire, es necesario recurrir a una segunda etapa para lograr una mínima cantidad de agua en el aire, puesto que llegar al aire completamente seco es imposible.

Funcionamiento.- Como conocemos el punto de rocío es aquella temperatura a la cual el vapor se convierte en agua, es lo que realiza el secado por refrigeración, presentado en la figura (F). El aire húmedo ingresa en un pre enfriador y la temperatura ambiente, en esta etapa baja la temperatura y aún más al llegar al enfriador principal el cual se encuentra apoyado por un sistema de refrigeración con

compresor, peón y evaporador aquí el aire comprimido llega de 0.65 a 3.2 ° C, dirigiéndose al separador, donde por la baja temperatura el vapor condensa y cae por gravedad al fondo del separador donde es drenado.

El resto de aire retorna al enfriador y sale aire comprimido con un contenido bajo de humedad.

### 3.14 Manómetro de presión

Es importante que la presión se mantenga controlada para ser funcionar las maquinas neumáticas en un punto óptimo. Para este fin se emplean los manómetros mostrados en la figura 2.7.

Funcionamiento.- El manómetro de tubo de Bourdon, consiste en un tubo curvado, unido a engranajes y una aguja, cuando la presión asciende el tubo curvado se deforma enviando dicho movimiento a los engranajes y aguja, que en una escala graduada indica la presión del gas.

## Capítulo 4

### 4.1 Descripción y dimensionamiento general de las redes de aire comprimido

Para el buen aprovechamiento de la energía contenida en el aire comprimido, tanto en cantidad (caudal), calidad y presión requeridas por maquinarias y herramientas neumáticas contactadas al sistema, es necesario disponer de un sistema eficiente de distribución de aire comprimido.

La red y su diseño deben garantizar que la presión se mantenga en el sistema, sin importar que tan cerca o lejos se encuentre del compresor, llegando el caudal necesario.

### 4.2. Red abierta

La red posee dos funciones básicas:

- 1.- Comunicar la fuente productora con los equipos donde se hace el consumo de aire.
- 2.- Funcionare como un reservorio para atender las exigencias del sistema.

Una red perfectamente diseñada debe cumplir con los siguientes requisitos:

- Las exigencias de las aplicaciones del sistema del aire comprimido obligan a una mínima caída de presión, que debe tener sus límites tolerables.
- No puede existir excesiva humedad en el sistema, el sistema debe provocar la evacuación máxima de humedad.

### 4.3 Tipos generales de redes

Las configuraciones de redes de aire comprimido tienen varias opciones:

#### 4.3.1 Red abierta

Como se observa en la figura G este tipo de red inicia en la fuente que sería el compresor, luego a través de una sola línea principal, se dirige a una secundaria que recorre los sitios que deben estar los equipos y herramientas neumáticas a utilizar, final mente por las líneas de servicio terminan su recorrido, teniendo válvulas de control antes de la herramienta o equipo neumático.

Por tratarse de una sola línea de aire sin retorno, resulta económico y fácil de colocar, pudiendo incrementar en la red caída normales, de tal manera que al final del recorrido se tendrá la respectiva trampa de agua donde se recogerá el condensado.

En cambio la desventaja fundamental de este tipo de configuración es la imposibilidad de cortar o sellar las áreas correspondientes a una falla temporal del sistema, debiendo muchas veces parar la producción del resto del tramo.

#### 4.3.2 Red cerrada

Como se puede apreciar en la figura 4.1 al final del último consumidor la tubería retorna al inicio del compresor, teniendo un anillo cerrado de retorno, en principio se observar la utilización de una mayor cantidad de tubería, siendo su costo más honroso que el anillo abierto, sin embargo las labores de mantenimiento son más sencillas y puntuales, sin necesidad de paralizar la planta, con la posibilidad de aislar ciertas partes que convienen para la reparación.

Otro de los problemas que radica en el sistema es la difusión de direcciones que toma el aire, fijémonos en la figura al inicio, el aire proveniente del compresor sale por

vías distintas, izquierda y derecha, lo cual dificulta la utilización de la mayoría de accesorio como (filtros, enfriadores, reguladores, etc.) tienen un sentido determinado, dificultando su funcionamiento.

#### 4.4 Red interconectada con tuberías derivadas de las transversales

Como indica la figura I, se trata de un sistema similar al de anillo cerrado, pero existen unas derivaciones entre las líneas principales.

Aunque tiene la ventaja del anterior sistema, como, facilidad de mantenimiento sin parar la producción, insiste el problema del costo, que se agudiza por el empleo de mayor cantidad de materia transversal.

#### 4.5 Riesgos y consideraciones que se deben tomar en cuenta al diseñar las líneas de aire comprimido

Un diseño correcto de las redes de aire comprimido, asegura que este llegue a las estaciones correspondientes con el caudal y presiones requeridos de las herramientas, caso contrario se tendrá un inadecuado funcionamiento del equipo así como los riesgos siguientes:

- Es importante que las líneas o tuberías se encuentren perfectamente alineadas, tanto los equipos de sistemas como a los accesorios, una desalineación produce esfuerzos innecesarios entre las partes, que podrían traducirse en la fatiga del material, la falla del mismo y su correspondiente explosión.
- En la actualidad tiene gran importancia el uso de plásticos y polímeros en los sistemas de aire comprimido, sea en tuberías accesorios, filtros, etc. El material es apropiado para asistir las condiciones de funcionamiento de la red, pero una contaminación del aire que circula con sustancias químicas

contaminantes podrá hacer que pierdan las propiedades iniciales, con un inminente peligro de explosión.

- Debida a la acción climática en elementos expuestos, pueden inducir a su falla correspondiente.

El diseño en sí de la red debe tener parámetro de lubricación correcta de cada uno es decir debe ubicarse la tubería principal, sus ramificaciones, todas las puntas de consumo, etc.

El plano en si debe tomar en cuenta la isometría, longitudes reales, con escala respectiva en el dibujo técnico, sin dejar de lado posibles ampliaciones que la planta, fabrico o taller pueda requerir en el futuro. En general las consideraciones que deben tomarse en el diseño y construcción de las redes son:

- Línea de distribución con válvula respectiva.- En el mercado se encuentran válvulas neumáticas de esfera y de diafragma en medidas menores a 2 pulgadas. Se encuentran válvulas especiales de compuerta. Especialmente en industrias seccionadas donde existen zonas de trabajo especializado con herramientas especializadas, neumáticas, a través de válvulas se pueden aislar dichas zonas independientemente del resto, esto evita una paralización total del taller. Un ejemplo típico tenemos en la figura. (J).
- La red debe garantizar el mínimo de fricción entre el aire y las paredes internas de la tubería, ello se logra una red con el menor número de curvaturas, y en caso de utilizar codos, este debe tener el máximo de curvaturas, como un mínimo de dos veces el diámetro externo del tubo. Como indica la figura (K).

- **Inclinación de tubería.-** Aunque la red posee secadores en sus líneas, muchas veces al final y en función de temperatura existe líneas, muchas veces al final en función de temperaturas, existe tendencia a formar un condensado que se traduce en pequeñas gotas que oxidaran las paredes internas de la tubería o herramientas utilizadas, por esta razón, se procede a dar una cierta inclinación a la tubería como indica la figura (L), siendo del 0.5 al 2 % de inclinación de acuerdo a la longitud los tubos, lógicamente se recomienda colocar unos sangradores al final de la línea, si es necesario más de uno, se aconseja con una separación de 20 a 30 metros.
- **Cuello de cisne en redes de aire comprimido.-** Cuando tenemos un cambio de estado en la cañería, el agua se deposita en el tubo secundario al pasar el tubo de servicio bajaría hasta las tomas finales, llegando el condensado a la herramienta conectada, para evitar esto se conecta un semicírculo (cuello de cisne) hacia arriba, sin permitir que el agua baje a la herramienta, se queda en el tubo secundario y luego pasa a la trampa de agua por la inclinación que posee, este sistema se muestra en la Figura.(M).
- **Tubería principal; 80 (ESPE)**  
Ejemplo: Diseño del sistema de aire comprimido.  
Determinación de consumo de aire en el sistema:
- Es necesario conocer varios factores que tendremos del sitio a diseñar se calculara la carga total que tendrá, primero identificando en cada punto la maquina neumática o proceso que llevara a cabo.
- Determinan a través de tablas o especificaciones del fabricante, el consumo que será necesario para cubrir las demandas

- Igual en especificaciones de la maquina cuenta con la presión necesaria para su correcto funcionamiento.
- En base al proceso a realizar o la máquina que se utilizara, se determina la máxima humedad que soporta y la lubricación respectiva que necesita.

En la presente tabla se ejemplifica las maquinas neumáticas a utilizar con su respectivo consumo y presión que necesita.

**Tabla 4.1** Consumo y presión de herramienta neumática

TOMA	HERRAMIENTAS	TAMAÑO O TIPO	PRESION AIRE		
			PSI	CFM	m3 / h
1	Pistola de torque	14,000 lb cap	70 – 90	5,83	9,92
2	Taladro rotativo	1/4 in cap	70 – 90	3,69	6,27
3	Pistola engrasadora	Pequeña	70 – 100	3,33	5,69
4	Cambiador de neumáticos	Pesada	70 – 90	1,93	3,28
5	Aspiradora de aceite	1/2 in cap	70 – 100	6,84	11,65
6	Línea de inflar neumáticos	-	70 – 100	1,73	2,97
7	Lavadora de carros	Mediana	70 – 100	1,14	1,97
8	Probador para radiador	Pequeña	70 – 20	1,04	1,8
9	Pistola de pintura	Pequeña	70 – 90	2,03	3,45
			<b>CONSUMO TOTAL</b>		
			<b>27,56</b>	<b>47,04</b>	

**Fuente:** Andrés Carrión

#### 4.6 Selección del compresor y acumulador

El cuadro anterior nos indica, que la mayoría de herramientas en distintas tomas trabajaran de 70-PSI (5-7 bares) y un total de caudal de 27.56 CFM, estos valores hacen eficientes a las herramientas durante su utilización.

En el mercado no se encontrara un compresor exactamente con los valores obtenidos, se deberá ajustar a los valores existentes, con preferencia que se sobre dimensione con una tolerancia no excesiva.

Como se puede apreciar en capítulos anteriores, tenemos varios tipos de compresores que tendrán ventajas y desventajas respecto al proyecto planteado, donde se tomara en cuenta lo siguiente: Eficiencia del equipo, vida útil, calidad de aire, costo del compresor, consumo de energía, temperaturas avanzadas, desgaste de repuestos del equipo, costos de mantenimiento.

Luego de haber analizado las distintas propuestas del mercado con las permanentes propuestas anteriormente se decide utilizar el compresor de pistón por las siguientes razones:

- El compresor pasara inactivo un 60% del tiempo total, no necesita trabajar las 24 horas del día por su condición de trabajo. Su precio está al alcance del presupuesto designado por la empresa.
- Consume menor cantidad de energía, su vida útil es apreciable, así como su mantenimiento está dentro de los parámetros recomendados.
- Después de haber analizado en el mercado las distintas opciones que se adaptan a las condiciones de funcionamiento, y tomando en cuenta que la máxima presión que requiere los equipos es de 100 PSI (7 Bar) y el caudal necesario es de 27.56 CFM, se elige un compresor CRAFTMAN de 8 HP, Motor trifásico de 220v/440v Presión máxima de 175 PSI, tanque vertical de 80 galones, cabezal de 4 cilindros de simple etapa.

Ejemplo del catálogo para la elección de un compresor.

**Tabla 4.2** Tipos de compresor

Tipo de compresor	Máx. presión de trabajo				Capacidad FAD *			Potencia del motor		Nivel sonoro **	Peso***	
	WorkPlace		WorkPlace Full Feature		l/s	m³/h	cfm	KW	CV		dB(A)	WorkPlace
	bar(e)	psig	bar(e)	psig								
<b>Versión 50 Hz</b>												
GA 5 - 7,5	7,5	109	7,3	105	14,9	53,6	31,6	5,5	7,5	60	215	245
- 8,5	8,5	123	8,3	120	13,4	48,2	28,4					
- 10	10	145	9,8	141	11,5	41,4	24,4					
- 13	13	189	12,8	185	8,7	31,3	18,4					
GA 7 - 7,5	7,5	109	7,3	105	21,0	75,6	44,5	7,5	10	61	224	254
- 8,5	8,5	123	8,3	120	19,5	70,2	41,3					
- 10	10	145	9,8	141	17,0	61,2	36,0					
- 13	13	189	12,8	185	13,5	48,6	28,6					
GA 11C - 7,5	7,5	109	7,3	105	28,5	102,6	60,4	11	15	62	237	272
- 8,5	8,5	123	8,3	120	26,5	95,4	56,2					
- 10	10	145	9,8	141	24,7	88,9	52,3					
- 13	13	189	12,8	185	20,4	73,4	43,2					
<b>Versión 60 Hz</b>												
GA 5 - 100	7,4	107	7,2	104	15,0	54,0	31,8	5,5	7,5	60	215	245
- 125	9,1	132	8,9	128	12,6	45,4	26,7					
- 150	10,8	157	10,3	149	10,7	38,5	22,7					
- 175	12,5	181	12,3	178	9,0	32,4	19,1					
GA 7 - 100	7,4	107	7,2	104	20,7	74,5	43,9	7,5	10	61	224	254
- 125	9,1	132	8,9	128	18,2	65,5	38,6					
- 150	10,8	157	10,3	149	15,6	56,2	33,1					
- 175	12,5	181	12,3	178	13,6	49,0	28,8					
GA 11C - 100	7,4	107	7,2	104	28,9	104,0	61,2	11	15	62	237	272
- 125	9,1	132	8,9	128	26,1	94,0	55,3					
- 150	10,8	157	10,3	149	23,8	85,7	50,4					
- 175	12,5	181	12,3	178	21,2	76,3	44,9					

\* Rendimiento de la unidad medido de acuerdo con ISO 1217 Ed. 3, Anexo C1996  
 Condiciones de referencia:  
 - presión absoluta de entrada 14,5 psi (1 bar)  
 - temperatura de entrada del aire 68°F (20°C)  
 El FAD está medido a las siguientes presiones de trabajo:  
 - variantes de 7,5 bar a 7 bar(e)  
 - variantes de 8 bar a 8 bar(e) (7,75 bar(e) para FF)  
 - variantes de 13 bar a 12,5 bar(e)

\*\* Nivel sonoro medio medido a una distancia de 1 m de acuerdo con el código de prueba Pneurop/Cagi PN1NTC8; Tolerancia 2 dB(A).  
 Punto de rocío a presión del secador frigorífico integrado en condiciones de referencia: +3°C.

\*\*\* El peso indicado corresponde a unidades montadas sobre suelo. Para las unidades montadas sobre depósito, añadir 85 kg adicionales.

**Fuente:** Andrés Carrión

#### 4.7 Lugar a colocar el compresor

El lugar donde debe situarse el compresor, debe cumplir varias condiciones para que su funcionamiento sea eficiente, el sitio debe ser perfectamente ventilado sienta el aire lo más fresco posible, con bajo contenido de partículas de polvo y humedad, por razones económicas debe situarse lo más cerca posible del sistema al construirse, siendo necesario que igualmente que el mismo no contamine lugares cercanos, siendo necesario un recinto aislado.

## Capítulo 5

### 5.1 Justificación de diseño y materiales utilizados en la construcción del sistema de A/C

### 5.2 Tubería de cobre de media pulgada

Con este material se aísla la temperatura del ambiente con la interna o la de las líneas, porque como se muestra en la foto1, el cobre mantiene mejor la temperatura y evita que las moléculas de aire se expandan evitando así la condensación.

#### 5.2.1 Instalación primera toma de aire

Tubería de cobre más codo con llave de paso con su respectiva soldadura y seguido del filtro trampa de agua y su acople universal para la herramienta neumática.

Se puede ver en la foto (1) que la primera toma se la considera como la numero 1 o la primera siendo de derecha a izquierda en total 3.



**Figura 5.1** Filtro trampa de agua

**Fuente:** Andrés Carrión

Al ser soldado en sus uniones el sistema no tiene perdidas y por ende la relación tiempo recorrido mejoran por la superficie lisa, el sistema será de mayor eficiencia y de estas manera, calculando de manera precisa las distancias y alturas en el sistema evitamos que dentro delo mismo se cree condensación al evitar que las condiciones para que se den. Al no tener juntas en las uniones, codos, etc. Evitamos las perdidas, porque siempre hay un cierto grado de fuga entre las juntas, las roscas de uniones entre tuberías, codos, cuellos de ganso, etc., no son lo suficiente mente herméticos para contener el sistema y su presión al pasar el tiempo la tubería al mantenerse expuesta a las variaciones de temperatura del clima tiende a deformarse, es por esto que al utilizar tubería de cobre. Como se muestra en la Foto (2)



**Figura 5.2** Tubería de cobre más codos de cobre y soldados.

**Fuente:** Andrés Carrión

Se debe en las uniones soldar y de esta manera se garantiza que no existan fugas en el sistema y mantenerlo alineado soportando los cambios de temperatura del clima.

#### 5.2.2 Instalación de tubería por dentro de la pared

En la figura 5.3 se observa que la tubería de cobre se dirige por dentro de la pared, y esto se debe por cuestiones de estética, evitando que se exhiban la línea o tuberías por dentro del taller y manteniendo así un buen sistema de seguridad industrial y rigiéndose a las normas antes vistas.

Vista lateral



**Figura 5.3** Tubería dirigida a través de la pared

**Fuente:** Andrés Carrión

También es importante recalcar que al tener en cuenta todos estos puntos a favor, se protege al sistema y sobre todo a la vida útil de las herramientas y todas las líneas del sistema o tubería de cobre, como norma de identificación tiene un color azul relativo al aire.

En el sistema se utiliza el material de cobre para evitar el choque constante de temperaturas ambiente y la transferencia de calor es mínima y de esta manera evitar la condensación aplicando termodinámica abierta.

### 5.3 Material eléctrico

Se utilizó para este sistema cable gemelo número 10 como se muestra en la foto (4) para evitar el recalentamiento.



**Figura 5.4** Instalación del cableado electrico

**Fuente:** Andrés Carrión

Para que exista una mejor conductividad eléctrica y evita el aumento a la oposición de paso de electrones, se recubre el mismo con plástico aislante tubular de color amarillo como indicativo de seguridad. Esta línea eléctrica va conectada al cajetín del área de soldaduras y se lo ha dispuesto con un breacker de 40 amperios

Justificación del diseño del sistema.- Con relación a la altura del compresor, como muestra la figura 5.4 existe la primera caída en espiral para disipar el calor de la temperatura ambiente en caso de que esta sea alta, adamas de la facilidad para su mantenimiento

#### 5.4 Instalación del compresor y de la manera de alta presión

La altura de este compresor esta dado dependiendo del lugar que se encuentre

como en este caso el al parte trasera de la Facultad de Mecánica Automotriz de la UIDE, y es aquí donde hay poco espacio entre una montaña y la infraestructura.



**Figura 5.5** Instalación de la manguera de alta presión

**Fuente:** Andrés Carrión

Seguido se encuentra el primer filtro-trampa de agua seguido del lubricador del sistema, para evitar el paso de partículas de agua como se puede ver en la foto (5.6)

Una dirección en subida del aire permite que el agua retenida no pase y la lubricación sea de mejor manera las uniones y ángulos en las demás juntas para reemplazar a los cuellos de ganso puesto que el cobre es un material lizo, no se deforma y por ende no existe fricción

### 5.5 Instalación y conexión del sistema

La 40 a 44 PSI, pérdida de 12 PSI a 18 PSI aproximadamente, las alturas que

tenemos del piso al manómetro y por ende al inicio de las líneas es de 1.40metros, desde la altura del primer filtro y lubricador hacia la parte más alta del sistema hay 70 centímetros, en total 2.10 metros de altura



**Figura 5.6** Instalación y conexión del sistema

**Fuente:** Andrés Carrión

Al llegar a la parte superior del sistema las líneas se dividen en dos direcciones en donde encontramos una caída por cada línea final de servicio. Esta subida tiene una distancia 70 centímetros.

## 5.6 Instalación de las líneas de área

En la foto (5.7) se ve como están dispuestas las líneas y sus distancias, también se puede observar las uniones en cobre y soldadas y los orificios que se taladraron en la pared con la medida de ½” con color azul por diferenciación de tipos de conexiones.



**Figura 5.7** Instalación de las líneas de aire

**Fuente:** Andrés Carrión

Al llegar a la T que divide las direcciones del flujo de aire como muestra la foto (5.8), se encuentra con dos distancias una hacia la derecha y una hacia la izquierda, las distancias hacia la derecha es desde la te hasta la primera caída de 2 metros y de este punto a la siguiente y última caída hacia la izquierda en 90 grados es de 5 metros, de la T hacia la izquierda tenemos una distancia de 3metros, y una caída en 90 grados y una distancia de caída de 70 centímetros.

5.7 Instalación de líneas con su respectiva (T)

Por el orificio taladrado en la pared se dispone por la misma la tubería de cobre antes soldada con el codo y pintado con el respectivo color se llega a este punto.



**Foto 5.8** Instalación de líneas con sus respectiva T y codo de cobre soldados

**Fuente:** Andrés Carrión

Desde el punto más bajo del sistema o líneas del sistema tenemos un ángulo de 90 grados hacia dentro de la pared como muestra la foto (9), atravesando la misma para llegar al último codo donde se encuentra con el filtro-trampa de agua y seguido la válvula de acople.



**Foto 5.9** Instalación entre la pared de la tubería y conexión con el filtro de agua

**Fuente:** Andrés Carrión

De igual manera en las dos bajantes del lado izquierdo se encuentra la primera bajante en forma de T la cual tiene una distancia hacia abajo de 70 centímetros y al llegar a la parte más baja se encuentra con un codo de 90 grados igualmente dispuesto hacia la pared, continuando la línea entre la pared que tiene un ancho de 15 centímetros y al atravesar la pared se encuentra un codo de 90 grados como se puede observar en la foto (10) el cual enseguida se encuentra con el filtro-trampa de agua y seguido la válvula de acople final.



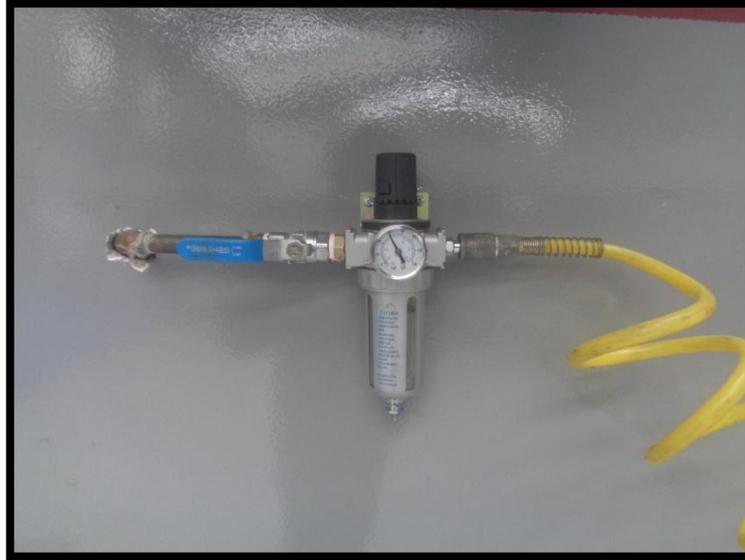
**Figura 5.10** Instalación de la llave de paso y filtro trampa de agua con acople y manómetro de presión

**Fuente:** Andrés Carrión

Y para llegar al final del sistema tenemos la última bajante en forma de codo de 90 grados y una caída con una distancia de 70 centímetros.

## 5.8 Instalación de la segunda toma de aire comprimido para herramienta neumática

Al atravesar la pared se encuentra con:



**Figura 5.11** Instalación de la segunda toma de aire comprimido y filtro trampa de agua con acople y manómetro de presión

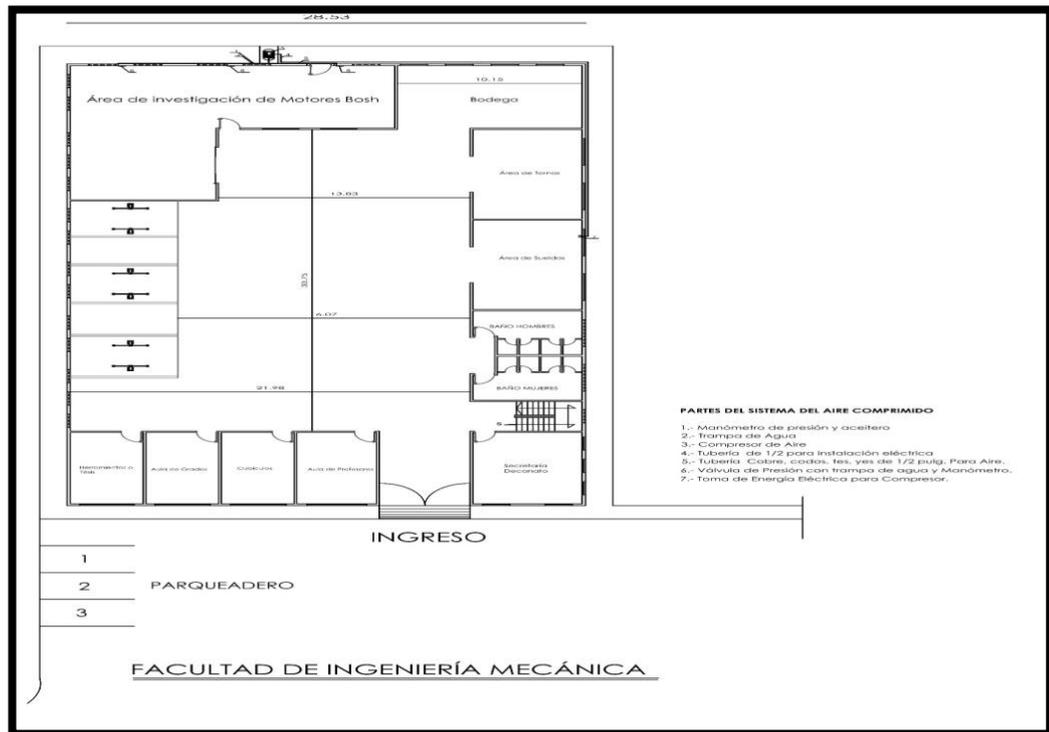
**Fuente:** Andrés Carrión

En su parte más baja se encuentra con un codo de 90 grados como se ve en la foto (5.11) dispuesto hacia la pared, la cual atraviesa la misma y llega la ultimo codo de 90 grados el cual dirige la línea o la tubería hacia el filtro-trampa de agua y por último a la válvula de acople final.

#### 5.9 Diseño y construcción del sistema de aire comprimido para el área de investigación de motores “BOSCH”

Como se muestra en el plano arquitectónico del área de la facultad de Mecánica Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador o plano (1), se ha diseñado el sistema de acuerdo a la necesidad de abastecer de herramienta Neumática para el área de investigación de motores “BOSCH”.

## Plano arquitectónico de la facultad de Ingeniería en Mecánica Automotriz.



**Figura 5.12** Diseño arquitectónico del sistema de Aire Comprimido

**Fuente:** Andrés Carrión

En el plano de la Facultad de Mecánica Automotriz podemos apreciar que se ha dispuesto las tomas o las fines de línea a cada 5 m, una de la otra, esto se da porque se ha dividido el espacio uniformemente de manera que la distancia de las líneas de punto a punto no creen condensación y de esta manera poder cuidar al sistema y sobre todo a la herramienta.

Ejemplo:

Al tener un taller de pintura no se puede permitir de ninguna manera tener agua en el sistema por lo tanto se diseña y se calcula el sistema y sus distancias y diámetros en función de la capacidad del compresor, para evitar que cuando se tiene que pintar un vehículo, no salga por el sistema agua, que se ha condensado a lo largo de las líneas

y por los malos cálculos y malas distancias e incluso los malos materiales que utilizan en el sistema y también la falta de filtros y de sistemas que cuiden que no se produzca agua dentro de las tuberías que al momento de llegar a la pistola de pintar y como todos sabemos, en los procesos de pintado el agua, aceite y grasa son el peor enemigo de los talleres de pintura.

Como sabemos las tuberías de plástico o PVC para fluidos líquidos, son comúnmente utilizados en sistemas de Aire Comprimido, pero al tener la necesidad de evitar que por razones tales como la temperatura externa y la interna de la tubería tiene mucho que ver al momento de calcular el sistema y evitar la condensación y por ende problemas en juntas, problemas de corrosión, problemas con las herramientas y con el sistema en sí. En el área de la Facultad de Mecánica Automotriz

#### 5.10 Soporte estructural para compresor

Como se observa en la foto (12) la estructura está diseñado para contener en su interior un compresor.

El compresor que está colocado dentro de la estructura tiene una capacidad de 3hp y tiene un largo de 1.20metros y su tanque tiene la capacidad para 70 litros.



**Figura 5.13** Colocación del compresor y su tanque de reserva dentro de la estructura

**Fuente:** Andrés Carrión

Con un tanque de 70 litros de capacidad y un motor eléctrico de 3Hp y con una capacidad de presión de unos 4.5 bar su peso aproximado sin aire comprimido es de unos 80 kg y cargado unos 100 kg, la estructura está formada de los siguientes materiales:

- Tubo “correa G” de 5x2 y de un espesor de 3milímetros
- Tubo cuadrado de 2x2 y un espesor de 3milímetros
- Malla electro soldada cuadrículada
- Plancha de tol galvanizado de 2.40metros x 1.20metros
- Suelda o electrodos 6013 AGA 1kilogramo
- Platina de 1”1/4 x 2 milímetros

Al construir la estructura para contener el tanque se debió primero analizar el área donde se lo dispondría y se llegó a la conclusión de que por espacios, por flujos y alturas se lo debe disponer como muestra en la foto (13).

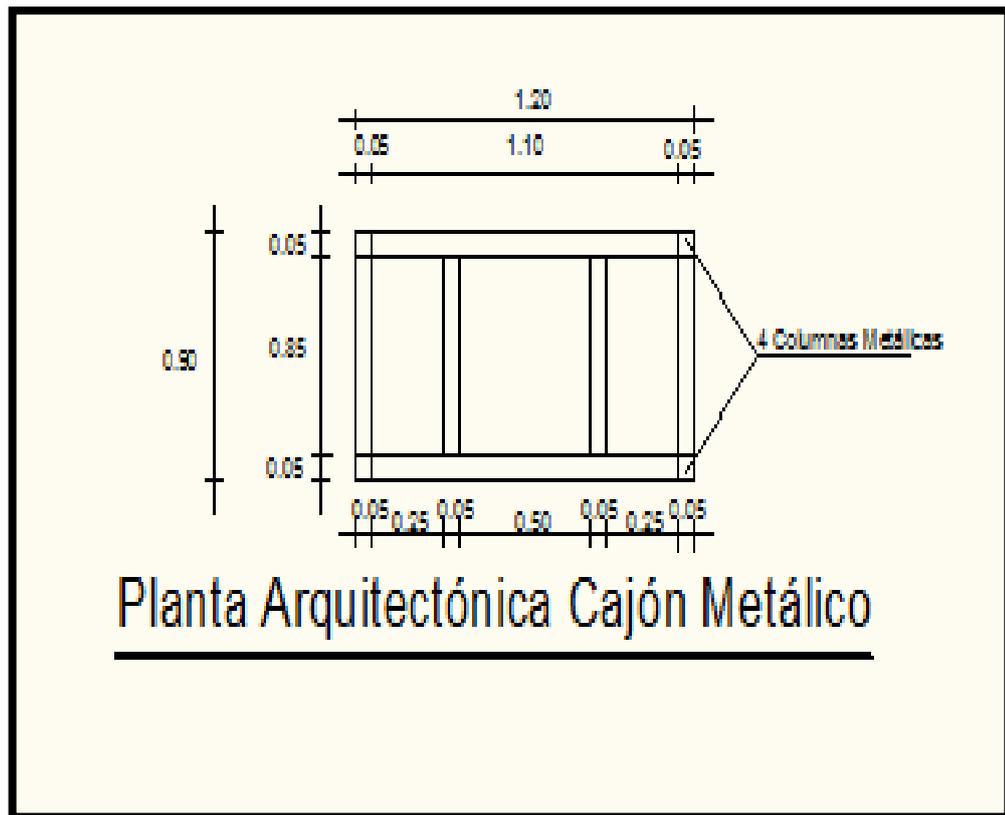


**Figura 5.14** Fabricación e instalación de la estructura soportante para el compresor

**Fuente:** Andrés Carrión

Es espacio dispuesto para la colocación del este sistema empieza en la parte trasera de la facultad de Mecánica Automotriz, la cual dispone muy poco espacio en si por cuestión de aire, se a decidido colocar el compresor y su tanque a la altura de su base que es desde el piso 177 metros y un ancho de 1.60 metros y una profundidad de 90 centímetros, la razón es que en esta parte se encuentra un corredor donde hay una rejilla de mantenimiento del canal de aguas de la estructura de la facultad, por esta razón se debió diseñar la estructura para que no corche la rejilla de mantenimiento al momento de querer levantarla para acceder al canal.

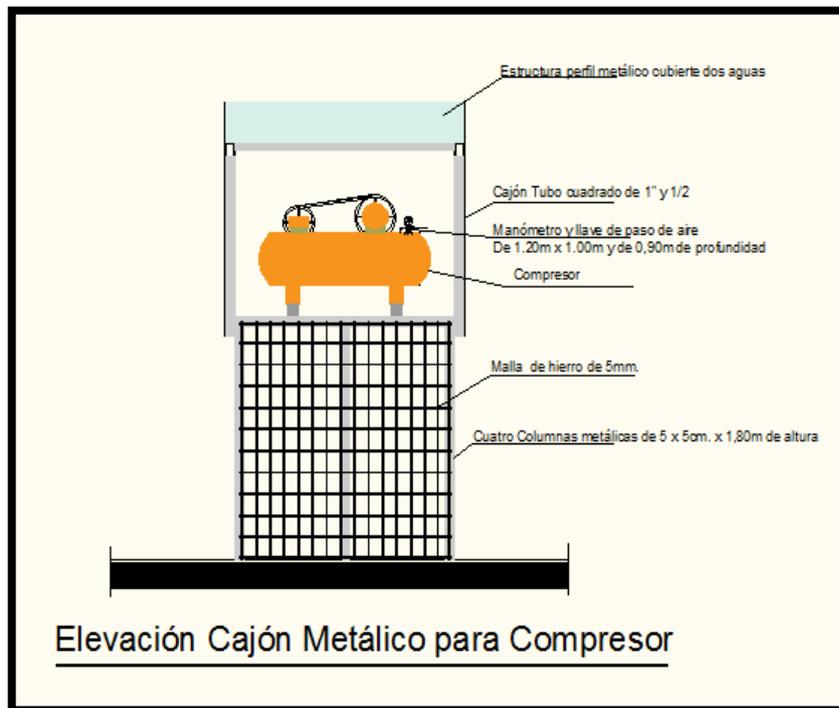
5.10 Plano Arquitectónico de estructura para compresor.



**Figura 5.15** Planta arquitectónica cajón metálico

**Fuente:** Andrés Carrión

### 5.11 Plano de elevación de compresor y vista lateral de estructura



**Figura 5.16** vista lateral cajón para compresor

**Fuente:** Andrés Carrión

## 5.12 Presupuesto de materiales para la fabricación del sistema de aire comprimido

**Tabla 5.1** Tabla de valores y materiales

N°	Cantidad	Detalle	Precio Unitario	Precio Total
	3	Tubo "correa G" de 5x2 y de un espesor de 3milímetros	17	51
	2	Tubo cuadrado de 2x2 y un espesor de 3milímetros	20	0
	1	Malla electro soldada cuadrículada 5X5 metros	30	30
	1	Plancha de tol galvanizado de 2.40metros x 1.20metros	43	43
	1	Suelda o electrodos 6013 AGA 1kilogramo	5	5
	1	Platina de 1"1/4 x 2 milímetros	4	4
	1	compresor de 3Hp de dos cabezotes	390	390
	1	25 metros de cable gemelo # 10	30	30
	1	tubo de recubrimiento para cable gemelo 25 metros	4	4
	1	<b>30 metros de tubería de cobre de 1/2 "</b>		

**Fuente:** Andrés Carrión

## Capítulo 6

### 6.1 Determinaciones de consumo del sistema

Se presenta una lista de principales maquinas que podrían ser utilizadas en el sistema diseñado, tomando en cuenta las presiones máximas y mínimas de las herramientas, igualmente se indica el caudal de consumo de aire que tienen las mismas, (en CFM y en m<sup>3</sup>/h) estos datos nos servirán para el cálculo del resto del sistema diseñado.

Se ha tomado en cuenta que las tomas instaladas en el sitio de trabajo pueden dar cabida a dos herramientas a la vez.

**Tabla 6.1** Herramientas a utilizar

N. DE TOMAS	HERRAMIENTAS	PSI	CFM	m <sup>3</sup> / H	TIPO DE USO
1	Pistola de Torque	60 - 80	0,49	0,84	INTERMITENTE
	Pulverizadora	60 - 80	0,26	0,44	INTERMITENTE
2	Instalador de Neumáticos	60 - 80	0,38	0,64	INTERMITENTE
	Aspiradora de Aceite	60 - 80	0,18	0,30	INTERMITENTE
3	Pistola de Torque	60 - 80	0,49	0,84	INTERMITENTE
	Pistola de Engrasadora	60 80	0,21	0,26	INTERMITENTE
	<b>CONSUMO TOTAL</b>		<b>2,13</b>	<b>3,42</b>	<b>INTERMITENTE</b>

**Fuente:** Andrés Carrión

## 6.2 Calculo del diámetro de tubería

Se toma en cuenta que la colocación del compresor se encuentra a distancia prudencial del taller, para no producir ruido excesivo, preservando la seguridad del personal tomando en cuenta que no se encuentra al nivel del suelo, si a una altura prudencial para tener una mejor ventilación, sin que intervengan agentes destructivos como la lluvia polvo, etc.

Luego el aire comprimido por el compresor en sí, debe correctamente almacenado en un tan que de reserva.

El mayor cuidado que se debe tener en el sistema es que la caída de presión se debe mantener lo más bajo posible, es decir la presión de la fuente , comparada con el punto de consumo no debería exceder el 0.1 bar por razones de economía, es decir las fugas de aire deben ser lo más bajas posibles.

Teniendo los datos de la tabla anterior, ya se puede idea para calcula el diámetro de la tubería.

Datos:

Caudal: (c) 2.02 CFM.

Velocidad: (v) 8m/s.

Este último valor de 8metros/ segundo de la velocidad interna del aire se toma de manuales referentes a estos sistemas de aire comprimido para sistemas automotrices “Neumatica, Thomson y Paranimfo, SMC International training, 2 Edition 2003, Capitulo 3”

$$CD = Cc \cdot fs$$

Dónde:

CD = Caudal del diseño.

Cc = Caudal calculado

FS = Factor de seguridad

$$CD = 2.01 \text{ CFM} \times 2 = 4.012 \text{ CFM.}$$

El factor de seguridad se toma del segundo puesto se ha previsto la utilización de equipos neumáticos adicionales al futuro.

Tomando en cuenta el caudal de diseño y la velocidad considerada estándar en estos casos en 8 m/s tenemos:

$$C = A \times V$$

Dónde:

C = Caudal del sistema

A = Área de tubería

V = Velocidad del aire dentro de la tubería

Despejando:  $A = C/V$

$$A = \frac{e}{V}$$

A=	4.02 ft <sup>2</sup>	s <sup>2</sup>	1 min	1 m <sup>2</sup>	(1000) <sup>2</sup> mm <sup>2</sup>	=
	Min	8 min	60 s	(3.21) <sup>2</sup> ft <sup>2</sup>	1 m <sup>2</sup>	237mm <sup>2</sup>

Como se trata de un área redonda del tubo se procede a despejar el diámetro de tubería

$$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4(217,14 \text{ mm}^2)}{\pi}}$$

Esta medida de tubería no se encuentra en el medio local pues se fabrican con medidas estandarizadas que constan en la siguiente tabla:

**Tabla 6.2** Diámetro de tubería

CALCULO DE DIAMETRO DE TUBERIA									
	TUBERIA	GASTO			VELOCIDAD	AREA	DIAMETRO		
		CFM	m3/h	m3/s	m/s	m2	M	mm	D. Comercial ( Inch )
PRINCIPAL	A-B	40	68.00	0.0189	8	0,0024	0,054829	54,83	2
	B-C	26	44.20	0,0123	8	0,0015	0.044205	44,2	1 1/2
	C-D	6	10.20	0,0028	8	0,0004	0,021235	21,24	3./4
	C-E	20	34.00	0,0094	10	0,0009	0,034677	34,68	1 1/4
SECUNDARIA	B-1	14	23.80	0,0066	10	0,0007	0,029013	29,01	1
	E-2	20	34.00	0,0094	10	0,0009	0,034677	34,68	1 1/4
	D-3	6	10.20	0,0028	10	0,0003	0,018993	18,99	3./4

**Fuente:** Andrés Carrión

Revisada la tabla anterior sacamos la conclusión de que el tubo ideal es de un diámetro de ½” tubo de cobre.

**Tabla 6.3** Categorías

Tamaño Normal	Diámetro Exterior	BS-1387-LIVIANO				BS-1387 MEDIANO				ASTM A-53			
		CEDULA 20				CEDULA 30				CEDULA 40			
		Espe sor Pare d	Presi on P.S.I	Pes o Kilo s	Diame tro Intern o	Espe sor Pare d	Presi on P.S.I	Peso Kilos	Diame tro Intern o	Espe sor Pare d	Presi on P.S.I	Peso Kilos	Diame tro Intern o
1/8*	10.30									1.73	700.00	2.16	6.84
1/4*	13.50									2.24	700.00	3.72	9.22
3/8*	17.50									2.31	700.00	5.10	12.48
1/2*	21.40	2.03	700.00	5.71	17.34					2.77	700.00	7.56	15.76
3/4*	27.00	2.34	700.00	8.40	22.32					2.87	700.00	10.08	20.96
1*	34.01	2.64	700.00	12.06	28.72					3.38	700.00	15.00	26.28
1 1/4*	42.09	2.64	700.00	15.42	36.81					3.56	1000.00	20.28	35.08
1 1/2*	48.40	2.95	700.00	19.56	42.50					3.68	1000.00	24.30	40.94
2*	60.30	2.95	700.00	24.66	54.40					3.91	1000.00	32.58	52.48
2 1/2*	76.20	3.25	700.00	34.80	69.70	3.66	700.00	39.12	68.88	5.16	1000.00	51.72	62.88
3*	88.90	3.25	700.00	40.50	85.65	4.06	700.00	50.82	84.84	5.49	2220.00	67.68	83.41
4*	114.30	3.66	700.00	56.70	110.64	4.47	700.00	72.60	108.91	6.02	1900.00	97.26	108.28
5*	141.30					4.88	700.00	97.20	130.04	6.55	1670.00	130.56	128.20
6*	166.00					4.88	700.00	115.20	155.44	7.11	1520.00	169.38	1154.08

**Fuente:** Andrés Carrión

### 6.3 Elección del compresor

El aire que ingresa al compresor desde la atmosfera, sufre un ciclo de transformación que implica su aumento de presión, para ello el aire que llegara al sistema de tuberías y maquinarias sale contaminado con humedad, aceite y caliente se calcula que un compresor típico de 180 metros cúbicos sobre hora, y tomando en cuenta que trabaja 8 horas diarias de trabajo durante 1 año aproximadamente se obtendrá 4500 litros de agua y 8 litros de aceite degradado del compresor, además de residuos sólidos como suciedad polvo, etc.

Previa la utilización del aire comprimido para realizar un trabajo, se deberá eliminar el mayor porcentaje de estos contaminantes.

Elegir el compresor más adecuado no es siempre es lo más simple, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

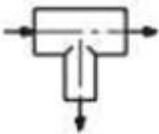
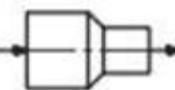
- Se tomara en cuenta el consumo de todos los equipos que estén conectados al sistema, además se prevé la ampliación de algunas herramientas que se pueden adquirir en el taller por fugas inevitables en el sistema, se prevé un suplemento de un 10 al 30%, en el caso de un consumo excesivo de aire, se puede contar un compresor adicional que satisfaga las demandas respectivas.
- Es necesario que la presión en el compresor no sea excesiva mente mayor que el necesario en las tuberías, puesto que implica un excesivo valor en el costo, así mismo es necesario que se mantenga constante la presión en el sistema.

La pérdida de presión que se produce en la red depende de varios factores, cuanto más largo sean los tubos, tanto mayor es la perdida de presión en el punto de

toma para las herramientas o equipos consumidores, se explica por la rugosidad de las paredes interiores del tubo y la velocidad que adquiere el aire en el sistema.

Los accesorios que se incluyen en el sistema como codos, tesis, válvulas, etc. tienen su equivalente en longitud efectiva que se muestra en la tabla A.1

**Tabla 6.4** Accesorios de tuberías del sistema de aire comprimido

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

**Fuente:** Andrés Carrión

La longitud total del sistema puede llegar a determinarse por:

$$d = \sqrt[5]{1.6 \times 10^3 \times V^{1.85} \times \frac{L_{total}}{\Delta p \times P1}} \quad \text{Ec.a}$$

Dónde:

D= diámetro interior del tubo en metros

P1= presión de funcionamiento en bar

$\Delta p$ = pérdida de presión en Pa (no superior a 0.1 bar)

L total= valor nominal de la tubería en metros

$\gamma$ = caudal en metros cúbicos sobre segundo.

La caída de presión  $\Delta p$  que se indica en la fórmula puede ser calculada de la siguiente manera:

$$\Delta p = \frac{B}{RXT} \times \frac{v^2}{D} \times L \times p \quad \text{Ec. B}$$

Dónde:

$\Delta p$ = Caída de presión en bar

P= Presión en bar

R= Constante universal de los gases

T= Temperatura del aire en el interior de la tubería

D= Diámetro de la tubería en milímetros

L= Longitud de la tubería en metros

v= Velocidad del aire en metros / segundo

p= grado de resistencia, que es función del caudal másico

m= Caudal másico en kilogramos/hora =  $1.3 \frac{m^3}{min} \times 60$

- El accionamiento se lo hará a través de un motor eléctrico, que causa menos ruido y su potencia es suficiente para mover este tipo de compresor
- Finalmente el presente diagrama expuesto a continuación nos da una idea del compresor que se puede tomar en cuenta para este determinado proyecto, tomando en cuenta en el eje abrisas el caudal que se consume en metros cúbicos/ hora antes indicado y en el eje de las ordenadas el valor de los caudales
- De acuerdo a estos se decidió utilizar el siguiente compresor :

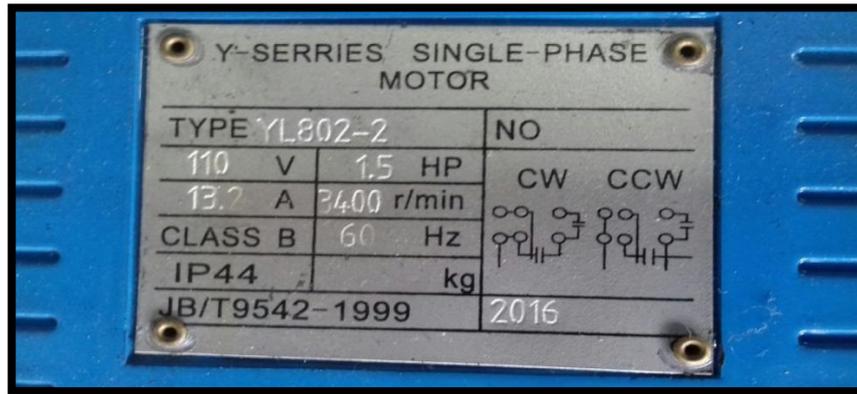
Compresor MZB Compressor



**Figura 6.1 MZB air compressor**

**Fuente;** <http://pumaaircompressor.com>

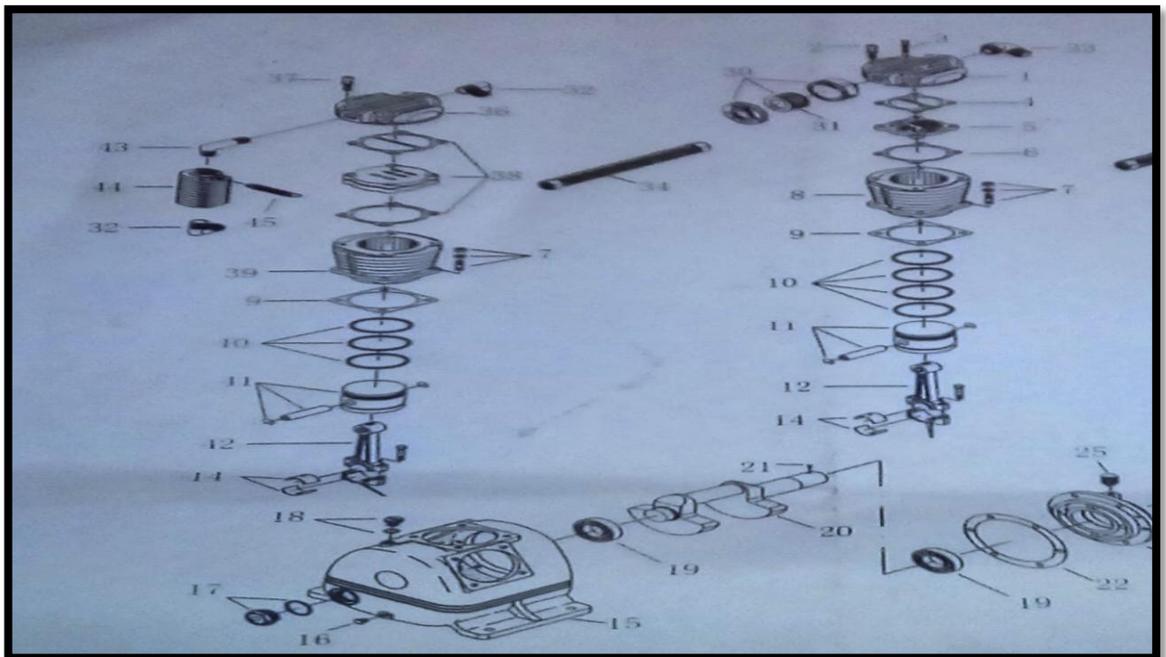
## Placa motor de compresor



**Figura 6.2** Especificaciones de compresor

**Fuente:** <http://mzgaircompressor>

La lista de partes del despiece del compresor utilizado en este sistema que es MZG de 3hp y dos cabezas de cilindro



**Figura 6.3** Manual de MZB air compressor

**Fuente:** Andrés Carrión

Tabla 6.5 lista de partes del compresor

Ref N.-	DESCRIPTION	PART N.-	QTY	REF N.-	DESCRIPTION	PART N.-	QTY
1	Cabeza de cilindro	3101018	2	24		2B00-SM10*025	6
2	Tornillo allen	2B01-M10*050V	8	25		2321008	1
3	Tornillo allen	2B01-M06*055Z	4	26		2N50-TC30*50*11	1
4	Empaque de Cabeza de cilindro	2G01-011	2	27		3PBF-145A230	1
5	Valvulas de admision y escape	3B13-AP80	2	28		2B34-13*52*14	1
6	Empaque de cabeza de válvulas	2G03-005	2	29		2B00-SM12*050V	1
7	Dos cabezas de cilindro	2B11-003-A	12	30		2140017	2
8	Cilindro	3201015	2	31		2142012	2
9	Empaque de cilindro	2G04-009	3	32		2N06-06T06H	3
10	Piston ring set	3B32-80	2	33		2N09-06H06T06H2	1
11	Piston set	3B31-80L	2	34		3B2-06*490	1
12	Biela	3B33-P2337	1	35		3B2-06*235	1

#### 6.4 Deposito del aire comprimido

Este elemento tiene las siguientes funciones:

- El caudal generado por el compresor y el caudal que consumen las herramientas por lo general son diferentes, el depósito de aire al tener el almacenado, compensa y regula dicha diferencia
- Al comprimir el aire produce tanto condensado como aceite de residuo proveniente del funcionamiento del compresor, y un aumento de temperatura, el deposito sirve como separador de estas sustancias indeseables en el sistema, al igual ayuda a regular la temperatura del aire, manteniéndolo estabilizado

## 6.5 defectos en el depósito de aire comprimido

Al acumular energía a través de la presión de aire que existe dentro del tanque, existe el peligro inminente de una explosión especialmente si faltaran las válvulas de seguridad, o también por alguna de las siguientes causas:

- El material con el uso durante un determinado tiempo pierde características llegando a fatigarse
- Las vibraciones producidas por el motor eléctrico pueden llegar a fisurar el material de sus paredes, con el consiguiente peligro de explosión
- Un mal diseño daría lugar a material de sus paredes, con el consiguiente peligro de explosión

## 6.6 Dimensionamiento del depósito de reserva

No existe una fórmula fija o directa que calcule el tamaño del tanque de reserva aunque la demanda del sistema y el tamaño del compresor son causantes que pueden servir para dicho cálculo, otros factores que inciden en el dimensionamiento del tanque:

- Del caudal de aire consumido por el sistema, tomando en cuenta el mínimo de horas que permanecerá encendido.
- Del consumo general del aire
- Del tipo de regulación del sistema

- Diferencia de presión dentro de la red

Se prefiere una construcción vertical de compresor por el menor espacio que ocupa

Este puede determinarse de la siguiente manera:

Si el volumen de consumo de aire en el tiempo permanece constante, significa que el caudal es constante para el cálculo del volumen puede emplearse la siguiente ecuación

$$Vp = \frac{14.7 \times Co}{(P+14.7)} \quad \text{Ec. C}$$

Dónde:

$Vp$  = Presión de trabajo absoluta

$P$  = Presión de trabajo en  $lb/pulg^2$

$$Co = \frac{\text{pies}^3}{\text{minutos}}$$

En caso que el consumo de aire comprimido sea irregular se calcula bajo la siguiente ecuación

$$Vdep = \frac{\Delta t \text{ con}}{\Delta p} (V_{\text{cons-vel}}) \quad \text{Ec. D}$$

Dónde:

$\Delta t \text{ cons}$  = Duración del pico de consumo en minutos

$\Delta p$  = Caída de presión admisible en el depósito expresada en bares

$V \text{ cons}$  = Pico de consumo en  $\frac{m^3}{min}$

Vel = Cantidad efectiva en  $\frac{m^3}{min}$

El tiempo que necesita el compresor para volver a estar lleno luego de consumirse por el trabajo se puede calcular a través de la siguiente ecuación

$$\Delta t \text{ llen} = \frac{V_{dep} \times \Delta p}{v_{ef}} \quad \text{Ec. E}$$

Dónde:

$\Delta t \text{ llen}$  = Tiempo de llenado del deposito

$V \text{ dep}$  = Volumen del dispositivo

$\Delta p$  = Caída de presión del depósito admisible

$v_{ef}$  = Cantidad efectiva en  $m^3/min$

Finalmente el tamaño del depósito del acumulador se determina según el diagrama de cálculo de la capacidad del acumulador dado en la figura (6.4)

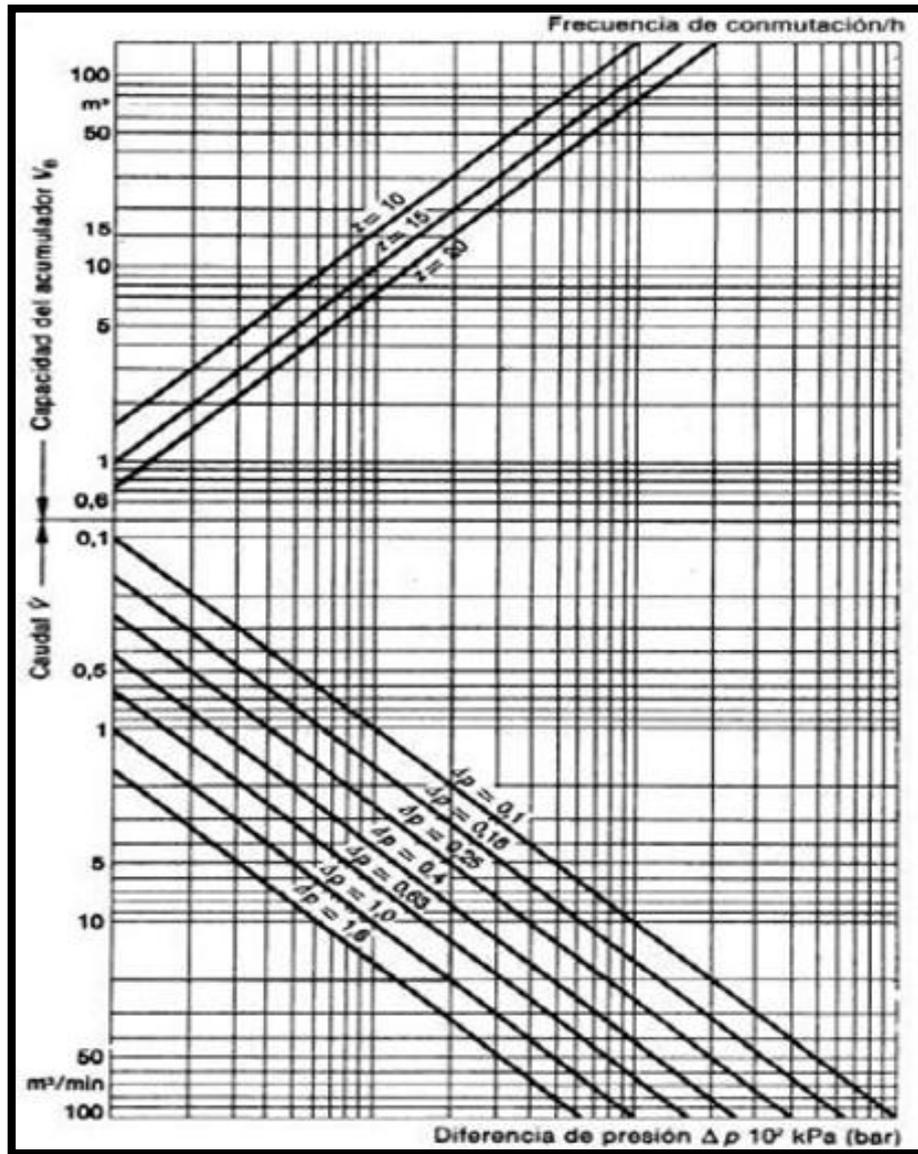


Figura 6.4 Caudal y capacidad

Fuente: Andrés Carrión

(1)

$$d = \sqrt[5]{1.6 \times 10^3 \times V^{1.85} \times \frac{L^{TOTAL}}{\Delta p \times P1}}$$

$$d = \sqrt[5]{1.6 \times 10^3 \times (2.2 \text{ cfm})^{1.85} \times 1.7 \times \frac{98 \text{ m}}{0.1 \text{ bar} \times 120 \text{ Psi}}}$$

$$d = 12.01\text{mm} \cong \frac{1}{2}\text{pulgada}$$

(2)

$$\Delta p = \frac{B}{R \times T} \times \frac{v^2}{D} \times L \times p$$

$$\Delta p = \frac{2.2}{0.0821 \times 293} \times \frac{(8)^2}{12.01} \times 98 \times 120$$

$$\Delta p = 0.11 \text{ bar}$$

(3)

$$Vp = \frac{14.7 \times Co}{(P + 14.7)}$$

$$Vp = \frac{14.7 \times 2.2}{(120 \times 14.7)}$$

$$Vp = 134.3 \text{ psi}$$

(4)

$$Vdep = \frac{\Delta t}{\Delta p} (Vcons - Vef)$$

$$Vdep = \frac{44\text{ms}}{0.1\text{bar}} (44 \text{ m}^3/\text{min} - 3 \text{ m}^3/\text{min})$$

$$V_{dep} = \frac{0.837m^3 \cdot 3.28^3 pie^3}{1m^3} = 29.54pies^3$$

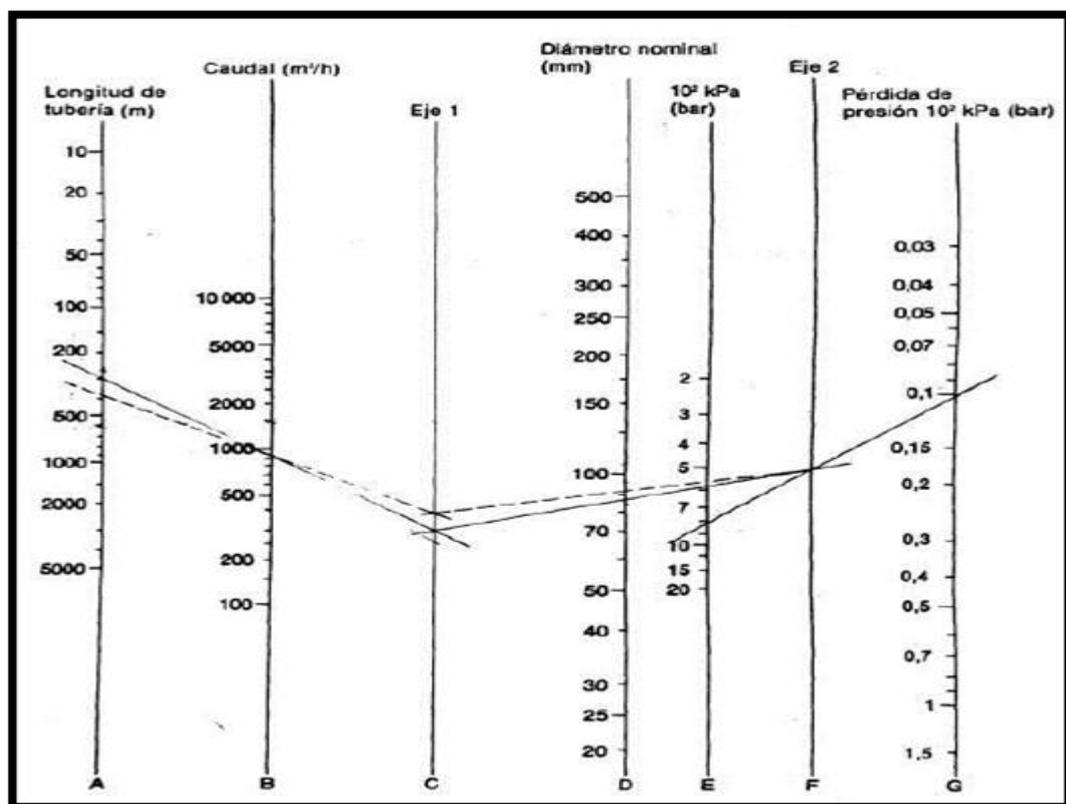
(5)

$$\Delta T_{llen} = \frac{V_{dep} \times \Delta p}{V_{ef}}$$

$$\Delta T_{llen} = \frac{0.837 \times 0.1 \text{ bar}}{0.987}$$

$$\Delta T_{llen} = 12.38min$$

**Tabla 6.6** Longitud, diámetro y pérdidas



**Fuente:** Andrés Carrión

## Capítulo 7

### 7.1 Seguridad industrial



Figura 7.1 Tríptico de seguridad industrial, flujograma y plano de la facultad

Fuente: Andrés Carrión

Este tríptico al ser colocado en donde las personas encargadas de mantenimiento y los estudiantes que son los que realmente ocuparan el sistema para estudiar de mejor manera en el área de motores “BOSCH”,<sup>1</sup> se lo colocara en forma de un rotulo de 3.00 metros x 1.50 metros de altura, con esto poder informar de mejor manera el mantenimiento y la manera adecuada de manipular el sistema.

## 7.2 Flujograma de mantenimiento

Con esta herramienta se ayuda al estudiante o encargado de realizar esta labor a realizar de manera correcta dentro de los tiempos recomendados por los fabricantes y para la mayor tiempo de vida del sistema gracias a este programa de mantenimiento

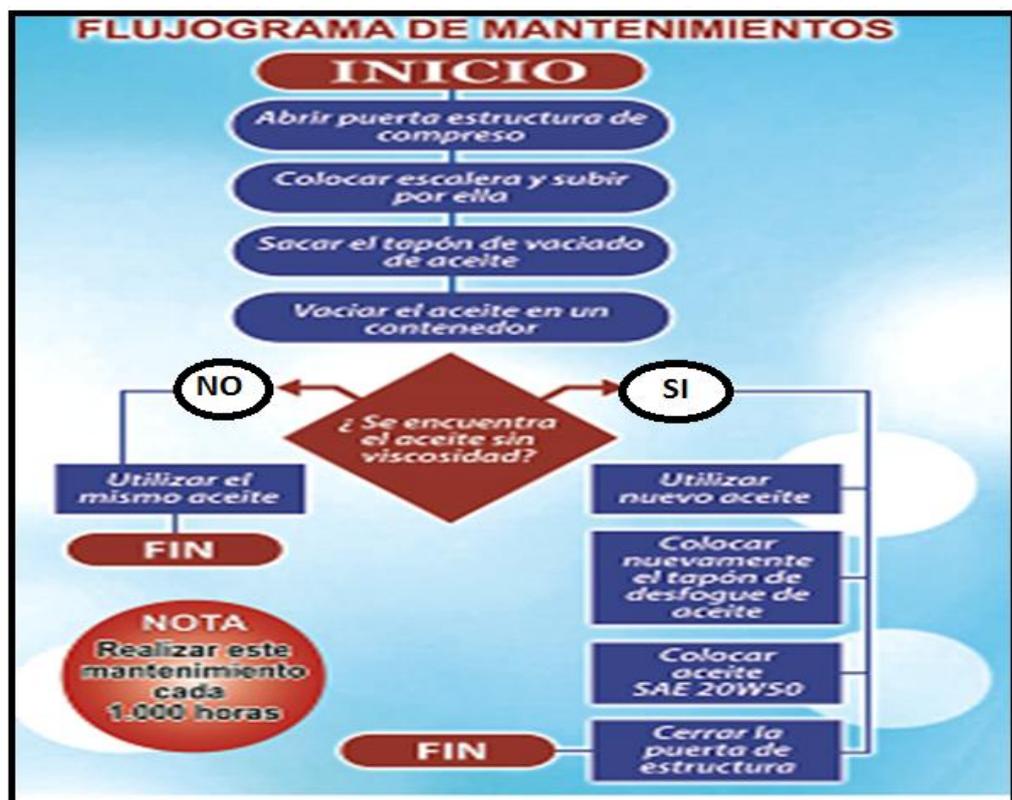


Figura 7.2 Diagrama de flujo

Fuente: Andrés Carrión

Es recomendable que cada 1000 horas de uso se cambie el aceite con los antes mencionados en las tablas de aceites recomendados.

### 7.2.1 Abrir puerta estructura de compresor

Al construir la estructura que contiene al compresor por seguridad se le a colocado a esta caja con malla electro soldada y en la parte frontal del compresor par el cambio de aceite se a colocado una puerta la cual tiene bisagras inferiores y la puerta se abre hacia abajo.

### 7.2.2 Colocar escalera y subir sobre ella

Por la altura a la que se encuentra este compresor se tiene la necesidad de una escalera para el mantenimiento del compresor, como puede ser limpieza, cambio de aceites, banda, etc.

### 7.2.3 Sacar tapón de vaciado de aceite

En todo compresor tenemos un tapón de de desfogue de aceite, el cual sirve para realizar los mantenimientos del mismo, se debe colocar el tapón después de vaciar para llenar con el nuevo aceite y no se derrame.

### 7.2.4 Vaciar el aceite en un contenedor

Se debe tener a mano un contenedor no menor a un galón para evitar que se derrame por el piso.

### 7.2.5 Se encuentra el aceite sin viscosidad?

Se realiza esta pregunta por que al hacer el cambio de aceite del compresor se

debe observar el estado del que se está usando y fijarnos si aún tiene viscosidad o no, si en caso de haber aun viscosidad se procede a usar el mismo aceite y en el caso de no tener ya viscosidad se lo debe cambiar por el nuevo aceite.

### 7.3 Seguridad Industrial “visual”



Figura 7.3 Seguridad industrial

Fuente: Andrés Carrión

#### 7.3.1 Peligro riesgo eléctrico

En esta señalética se informa al personal que esta área o ente caso que hay

peligro en el sistema eléctrico que está representado en color amarillo y recubierto los cables q conducen la electricidad que son gemelos numero 10 están cubiertos por un tubo de platico protector color amarillo.

#### 7.3.2 Altura y ancho máximo

El compresor a sido colocado dentro de una estructura cubica y elevada en 4 columnas las cuales dan un área de 2 metros de ancho de columna a columna y 1.20 metros de profundidad o de columna a columna en profundidad y una altura de 2.00 metros, es por estas medidas y por la ubicación de la misma que con este inductivo se busca advertir a los peatones que no se puede pasar por este túnel con un aparato cualquiera más grande de las mostradas en el tríptico.

#### 7.3.3 Línea eléctrica

Representada en color amarillo por seguridad industrial, para poder diferenciar por medio de colores que tipo de línea es por ejemplo línea de gas, línea de aire, línea eléctrica, etc.

#### 7.3.4 Línea de aire

Representada en color azul por seguridad industrial, para poder diferenciar entre líneas de seguridad y poder distinguir cual pertenece a cual.

## Conclusiones

- Se estudiaron los elementos y partes que conforman un sistema de aire comprimido, conociendo así el funcionamiento correcto, se da gracias a que por cálculo se determina que para un compresor como este por sus dimensiones lo mejor es poner tubería de ½ “ en material cobre para de esta manera y por la altura que existe en la ciudad de Quito este sistema no provoca condensación por la diferencia de temperaturas fuera de la tubería y dentro y por eso se decide usar cobre y sus distancias no sobre pasan los 5mm de punto a punto, ubicando así sistemas de protección como lubricador, trampa de agua antes de cada salida a las herramientas, de esta manera y por distancias sabemos que el tiempo de llenado del tanque de reserva del sistema no debe demorar más de 12.53min
- Se ha construido el sistema de la mejor manera posible para tener un sistema en perfecto funcionamiento y bien ensamblado capaz de siempre estar al servicio del usuario, el mismo que debe saber que para este sistema solo se pueden utilizar herramientas que trabajen dentro del rango que la capacidad de este compresor da y es:

PRESION AIRE	CONSUMO DE AIRE	
PSI	CFM	m3 / h
70 – 90	5,83	9,92
70 – 90	3,69	6,27
70 – 100	3,33	5,69
70 – 90	1,93	3,28
70 – 100	6,84	11,65
70 – 100	1,73	2,97
70 – 100	1,14	1,97
70 – 20	1,04	1,8
70 – 90	2.03	3.45
<b>CONSUMO TOTAL</b>	<b>27,56</b>	<b>47,04</b>

Y las herramientas que puede utilizar son:

N. DE TOMAS	HERRAMIENTAS	PSI	CFM	m3 / H	TIPO DE USO
1	Pistola de Torque	60 - 80	0,49	0,84	INTERMITENTE
	Pulverizadora	60 - 80	0,26	0,44	INTERMITENTE
2	Instalador de Neumáticos	60 - 80	0,38	0,64	INTERMITENTE
	Aspiradora de Aceite	60 - 80	0,18	0,30	INTERMITENTE
3	Pistola de Torque	60 - 80	0,49	0,84	INTERMITENTE
	Pistola de Engrasadora	60 80	0,21	0,26	INTERMITENTE
<b>CONSUMO TOTAL</b>			<b>2,13</b>	<b>3,42</b>	<b>INTERMITENTE</b>

- Se realizó un plan de mantenimiento adecuado para el sistema para de esta manera llegar a tener una larga vida útil del sistema y sus partes y sobre todo el cuidado de la herramienta neumática, en este tipo de herramientas el mantenimiento se lo calcula dependiendo de las horas de uso o trabajo, para nuestro sistema debemos proteger un motor en V de 3hp con un aceite para compresor y con una frecuencia de cambio de aceite de 1000 horas junto con sus filtros, se debe purgar todo el sistema todas las mañanas y revisar filtros una vez a la semana dependiendo del tiempo continuo de trabajo, también se debe tener en cuenta dentro de estos mantenimientos que el lubricador este con lubricante y funcionando correctamente.
- Se hicieron las correspondientes pruebas del sistema, para saber las capacidad del sistema, sus caídas de presión y sus picos y poder determinar el tipo de herramienta y la capacidad que soporta el sistema, durante el uso, del sistema del aire comprimido se producen picos de presión, los cuales están fuera de

rango de los que produce el compresor, el tanque de reserva compensa estas diferencias momentáneas

- El factor de utilización de aire comprimido tiene la necesidad de utilización de herramientas o equipos neumáticos en el trabajo normal, el tanque acumula energía a través de la presión para solventar estas necesidades

## Recomendaciones

- Se recomienda llevar el plan de mantenimiento del sistema de acuerdo al programa o a las horas de uso del sistema, las cuales dicen que cada 1000 horas de trabajo del motor eléctrico se debe cambiar el aceite por el recomendado por el fabricante, durante el uso del sistema del aire comprimido se producen picos de presión, los cuales están fuera de rango de los que produce el compresor, el tanque de reserva compensa estas diferencias momentáneas
- El factor de utilización de aire comprimido tiene la necesidad de utilización de herramientas o equipos neumáticos en el trabajo normal, el tanque acumula energía a través de la presión para solventar estas necesidades es por esto que se recomienda protegerlo bien, cuidar la jaula donde se encuentra con un techo, evitar que esta estructura envejezca y sobre todo que no colapse el techo ya que de esta manera evitamos el contacto del agua por parte de las lluvias sobre el tanque y así evitamos que por las partes de llenado etc, ingrese agua a su interior y por ende se corroa y esta corrosión llegue a las tuberías, accesorios y finalmente las herramientas, evitando así este tipo de desastres.
- fabricante ya que de esta manera y al respetar los tiempos y llevando el plan de mantenimiento adecuadamente se lograra tener una vida útil del sistema por muchos años, gracias a que al proteger el sistema con los mantenimientos debidos y en los tiempos que establece el fabricante.
- Se debe purgar el sistema cada mañana o antes de abrir las llaves de paso de presión, para de esta manera evitar que pase agua al sistema y no lleve humedad o agua a las herramientas neumáticas y así evitar que se dañen.

- El cambio de aceite del compresor y de sus filtros deben ser cambiados según el flujograma de mantenimiento cada 1000 horas
- Se debe respetar el diseño del sistema por cuestiones de cálculo, ya que se sabe que cada 5 metros se debe tener una válvula con trampa de agua y salida para herramienta ya que la no respetar estas distancias se crea condensación y por ende humedad dentro de las líneas que llevarían a estas al las herramientas y a su daño, no modificar las distancias ni diámetros de tuberías ni sus

## Bibliografía

FRANK M. WHITE, (2013) Mecánica de fluidos. Madrid, Editorial Mc Graw Hill, Quinta edición.

ROBERT L. MOTT, (2014) Mecánica de fluidos. Buenos Aires, Editorial Prentice Hall, Sexta edición.

RONALD V. GILLES, (2015) Tecnología Neumática, Madrid, Editorial Schaum, Cuarta Edición.

PARKER TRAINING, (2013), Tecnología Neumática Industrial, Editorial Prentice Hall. Quinta Edición.

WILLIAM C. DUNN, (2014) Fundamentals of Industrial instrumentation, Editorial Schaum, Quinta

Edición.

[http: pumaaircompressor.com](http://pumaaircompressor.com)

[http: mzbaircompressor.com](http://mzbaircompressor.com)