

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TUBERÍA DE
POLIPROPILENO PARA EL LABORATORIO DE PLC EN EL BLOQUE CINCO
DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

ESTEFANI GRAJALES GIRALDO

JUAN DIEGO ÁLVAREZ QUIROZ

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – IUPB

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MEDELLÍN

2013

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO EN TUBERÍA DE
POLIPROPILENO PARA EL LABORATORIO DE PLC EN EL BLOQUE CINCO
DE LA INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO**

ESTEFANI GRAJALES GIRALDO

JUAN DIEGO ÁLVAREZ QUIROZ

**Trabajo de grado para optar por el título de tecnólogo
en Electromecánica**

Asesor

ARLEY SALAZAR HINCAPIE

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – IUPB

FACULTAD DE INGENIERÍA

TECNOLOGÍA EN ELECTROMECAÁNICA

MEDELLÍN

2013

NOTAS DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Medellín, Mayo 2013

AGRADECIMIENTOS

DIOS: Porque a traves de el todo se puede por iluminarme y permitirme alcanzar esta meta

MI MADRE: Por sus multiples esfuerzos y apoyo incondicional en todo momento

MI HIJA: Por su paciencia en aquellos momentos en los cuales no he podido estar.

MI NOVIO: Por brindarme su apoyo.

MIS HERMANOS: Por brindarme su apoyo.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	14
2. JUSTIFICACIÓN	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4. MARCO DE REFERENCIA	17
4.1 MARCO TEÓRICO	17
4.2 QUE ES EL AIRE COMPRIMIDO?	17
4.3 PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO	18
4.4 CONCEPTOS O VARIABLES RELACIONADOS CON EL AIRE COMPRIMIDO	19
4.4.1 Aire atmosférico	19
4.4.2 Humedad absoluta	19
4.4.3 Humedad relativa	20
4.4.4 Presión	20
4.4.5 Caudal	22

4.4.6 Volumen	23
4.4.7 Capacidad	23
4.4.8 Punto de rocío	24
4.4.9 Eficiencia del sistema	24
4.4.10 Calidad del aire requerido	25
4.4.11 Perfil de demanda	26
4.4.12 Usos del aire comprimido	26
4.4.13 Baja presión	27
4.4.14 Media presión	27
4.4.15 Alta presión	27
4.5 GENERACION AIRE COMPRIMIDO	28
4.6 COMPRESORES DINÁMICOS	29
4.6.1 Eyector	29
4.6.2 Turbo axial	29
4.6.3 centrífugos	31
4.7 COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO	32
4.7.1 Reciprocantes	32
4.7.2 Rotarios	34
4.8 SELECCIÓN DE COMPRESOR	39
4.8.1 Condiciones generales de trabajo del compresor	39

4.8.2	Presión requerida en la red	40
4.8.3	Caudal requerido en el sistema	40
4.9	DIAGRAMA DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO	40
4.10	POSTENFRIADOR	41
4.10.1	Enfriador por aire	41
4.10.2	Enfriador por agua	42
4.11	SEPARADOR DE LÍQUIDO	42
4.12	TANQUE ACUMULADOR O DE AIRE COMPRIMIDO	43
4.13.	FILTROS	44
4.13.1	Filtros de partículas	44
4.13.2	Filtros de coalescentes	44
4.13.3	Filtros de vapores	45
4.14	SECADOR DE AIRE	45
4.14.1	Secado por enfriamiento	45
4.14.2	Secado por adsorción	45
4.14.3	Secado por absorción	45
4.14.4	Trampas de aire	45
4.14.5	Válvulas de drenaje automático	46
4.15	TENDIDO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO	50
4.15.1	Tuberías o líneas de distribución	51

4.16 MATERIAL DE LA TUBERIA	53
4.16.1 Acero	53
4.16.2 Acero inoxidable	53
4.16.3 Cobre	54
4.16.4 Plástico	54
4.16.5 Normalización internacional	55
4.17 DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO	56
4.17.1 dimensionamiento de las tuberías	56
4.18 COSTOS ASOCIADOS CON EL AIRE COMPRIMIDO	59
4.19 INVERSIÓN INICIAL	60
4.20 COSTO PERMANENTE	60
4.20.1 Mantenimiento	60
4.21 ENERGÍA ELECTRICA	61
4.21.1 Energía total utilizada	61
4.22 MARCO CONCEPTUAL	62
4.23 MARCO HISTORICO	62
5. METODOLOGÍA	62
5.1 TIPO DE ESTUDIO	62
5.2 MÉTODO	63
5.3 POBLACIÓN	63

5.3.1 Fuentes primarias	63
5.3.2 Fuentes secundarias	63
5.4 PROCEDIMIENTO	63
6. RESULTADOS DEL PROYECTO	64
7. CONCLUSIONES	66
8. RECOMENDACIONES	67
9. BIBLIOGRAFÍA	68
10. CIBERGRAFÍA	69
ANEXOS	70

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Valores típicos de saturación del aire atmosférico a nivel del mar	24
Tabla 2. Resumen de características de compresores de aire	38

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama relación entre presiones	21
Figura 2. Clasificación de compresores de aire	28
Figura 3. Eyector de aire	29
Figura 4. Turbo compresores axiales	30
Figura 5. Turbo compresor centrífugo	31
Figura 6. Compresor recíprocante de una etapa	33
Figura 7. Compresor recíprocante de dos etapas	33
Figura 8. Compresor recíprocante de doble efecto	34
Figura 9. Compresor de paletas	35
Figura 10. Compresor de anillo liquido	36
Figura 11. Compresor de tornillo	37
Figura 12. Compresor de lóbulo	37
Figura 13. Sistema de distribución de aire comprimido	40
Figura 14. Postenfriador por aire	42
Figura 15. Postenfriador por agua	42
Figura 16. Separador de líquido	43
Figura 17. Tanque acumulador	44
Figura 18. Unidades de mantenimiento	48
Figura 19. Ejemplo de una red de aire comprimido	50
Figura 20. Sistema abierto	51

Figura 21. Sistema cerrado	52
Figura 22. Sistema abierto con válvulas	52
Figura 23. Nomograma	57
Figura 24. Nomograma (longitudes suplementarias)	58
Figura 25. Tubería de polipropileno	64
Figura 26. Accesorios en polipropileno	65

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Plano del montaje del sistema	70

GLOSARIO

AIRE: El aire es una mezcla de gases cuya composición volumétrica es aproximadamente la siguiente: 78% Nitrógeno, 20% Oxígeno, 1% Hidrógeno, 1% Una mezcla de Dióxido de carbono (CO), gases nobles (Helio, Neón, Argón), polvo atmosférico y vapor de agua.

ANTIDEFAGRANTE: técnica de diseño o construcción destinada a evitar la iniciación o propagación de una combustión en atmosferas inflamables.

AUTOMATIZACIÓN: Conversión de determinados procesos corporales o psíquicos en automáticos o involuntarios.

COMPRESOR: Es una máquina de fluido que está construida para aumentar la presión y desplazar cierto tipo de fluidos llamados compresibles.

CONDENSADOS: Es el estado de agregación de la materia que se da en ciertos materiales a muy bajas temperaturas.

CORROSIÓN: Desgaste o destrucción lento y paulatino de una cosa

EMPOTRAR: Introducir un elemento en la pared o en el suelo, asegurándola con trabajo de albañilería.

FUERZA: Es todo agente capaz de modificar la cantidad de movimiento o la forma de los cuerpos materiales. No debe confundirse con los conceptos de esfuerzo o de energía.

HIGRÓMETRO: instrumento usado para determinar la humedad atmosférica. Algunos higrómetros miden la humedad por el rocío.

NEUMÁTICA: La neumática es la técnica (transmisión y transformación de fuerzas y movimiento) que utiliza la energía del aire comprimido para producir movimientos y/o esfuerzos.

NOMOGRAMA: grafico en el que se representa un cierto número de variables, de forma que el valor de la variable dependiente se puede leer en línea correspondiente cuando se dan los valores de las otras variables,

POLIPROPILENO: Es el termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propano)

TUBERÍA: Es un conducto que cumple la función de transportar agua u otros fluidos

RESUMEN

Este trabajo de grado plantea la necesidad que tiene la institución universitaria Pascual Bravo de implementar una red de aire comprimido para el aula de PLC, del bloque cinco, de la Facultad de Eléctrica que le permita mantenerse a la vanguardia de las instituciones educativas y garantizar, por medio de la implementación de espacios y equipos tecnológicos, que la formación que reciben los estudiantes está enfocada en brindarles un conocimiento acorde con las nuevas tendencias que se encuentra actualmente en la industria y el mercado.

Por medio del análisis de la estructura existente en el aula de PLC (donde quedará ubicada la nueva red de aire comprimido) y la red actual de aire comprimido con la que cuenta la institución en el taller de PLC del bloque 5, se procederá a hacer un diagnóstico del estado actual, las rutas para la conexión de los sistemas y todos los detalles del espacio, con el fin de evaluar cuáles son las condiciones y limitaciones que podemos encontrar para la implementación del sistema.

Una vez concluya la etapa de análisis y se tengan claros el panorama de trabajo y las necesidades del sistema, se procederá con una etapa de diseño basada en el marco teórico presentado que nos permite determinar cómo seleccionar un equipo para aire comprimido, todos sus componentes, las adecuaciones locativas y su aplicación en la industria.

Con el diseño final se busca ajustar la tecnología que oferta el mercado a nuestro entorno y que permita determinar cuáles son los principales componentes del sistema y su funcionamiento, enfocados en el caso particular del instituto.

Todo lo anterior permite hacer una selección de equipos que satisfagan las necesidades, garantizando el diseño óptimo para esta aplicación, permitiendo dar una solución que aproveche la infraestructura existente y que cumpla con las características técnicas requeridas para su correcto funcionamiento.

Una vez concluya la etapa de diseño y componentes se procede a realizar una evaluación de los costos totales del proyecto que incluye, equipos seleccionados, mano de obra de las actividades necesarias para llevar a cabo la implementación del sistema de aire comprimido.

ABSTRACT

This work raises the need to level the university has Pascual Bravo to deploy a network of compressed air to the classroom PLC, the block five, Faculty of Electrical to let you stay at the forefront of educational institutions and ensure through the implementation of spaces and technological equipment, the training students receive is focused on providing knowledge in line with new trends that is currently in the industry and the market.

Through analysis of the existing structure of PLC classroom (where will be located the new compressed air) and the current network with compressed air to the institution in the PLC workshop of block 5, proceed to do a diagnosis of the current state, the routes for connecting the systems and all the details of the space, in order to assess what are the conditions and limitations that can be found for the system implementation.

Once completed the analysis stage and have clear scope of work and the needs of the system, we will proceed with a design stage based on the theoretical framework presented allows us to determine how to select a team for compressed air, all its components, locative adaptations and their application in industry.

With the final design seeks to adjust market supply technology to our environment and to determine which are the main components of the system and its operation, focusing on the particular case of the institute.

All this allows a selection of equipment to meet the needs, ensuring the optimal design for this application, allowing to provide a solution that leverages existing infrastructure that meets the specifications required for proper operation.

Once completed the design phase and components we proceed to make an assessment of total project costs including, selected equipment, labor activities necessary to carry out the implementation of the compressed air system

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido corresponde a una tecnología o aplicación técnica que hace uso del aire que ha sido sometido a presión por medio de un compresor. El uso del aire comprimido es muy común en la industria, en la actualidad, es una de las ayudas más empleadas por las industrias para automatizar sus procesos. Por tal motivo la aplicación de este tipo de tecnologías en la Institución Universitaria Pascual Bravo es fundamental para el desarrollo de habilidades y destrezas por parte de los estudiantes.

El diseño adecuado de las redes de aire comprimido y sus respectivos accesorios, juegan un papel importante en los procesos productivos involucrados cuya energía utilizada es el aire, que sumada a los saberes adquiridos en la academia proporciona a los estudiantes una gama de soluciones tecnológicas a los problemas que traen el día a día en la industria moderna.

Todas las instituciones de formación superior trabajaban para que los estudiantes adquieran conocimientos teóricos y prácticos que generen un valor agregado y permitan aplicar dichos conocimientos al campo laboral, para este fin las instituciones implementan y adecuan sus espacios con laboratorios y herramientas que les permitan a los estudiantes desarrollar habilidades enfocados en las nuevas tendencias industriales.

La Institución Universitaria Pascual Bravo buscando el mejoramiento de sus instalaciones y sus servicios a los estudiantes pretende dar solución a la necesidad de implementar nuevas salas de prácticas que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades y conocimientos para dar solución a un sin número de dificultades presentes en los procesos industriales de hoy y que por intermedio de la simulación en los laboratorios facilitaran las soluciones en las empresas, después de salir de la academia.

Con base en esta necesidad la institución tiene previsto instalar módulos para simulaciones neumáticas en el laboratorio de PLC del bloque cinco, por tal motivo este proyecto de grado va enfocado al diseño del sistema de aire comprimido para alimentar estos equipos y poder realizar las practicas las cuales son las encargadas de desarrollar las habilidades y los conocimientos de los estudiantes, dando cumplimiento al plan de estudio de la institución y generando un valor agregado a los egresados de las diferentes tecnologías.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Durante la formación de los estudiantes de la Institución Universitaria Pascual Bravo ha sido indispensable la práctica en los laboratorios para el desarrollo de habilidades y destrezas que permiten el buen desempeño profesional de los egresados de la universidad.

Para el desarrollo de estas destrezas es necesario implementar un proceso de simulación en el laboratorio de PLC, el cual no cuenta con un sistema de aire comprimido para la ejecución de pruebas de laboratorio y por tal motivo las actividades académicas quedan inconclusas.

De esta manera y obedeciendo a las necesidades del Pascual Bravo; se pretende diseñar un sistema de aire comprimido que le brinde a los estudiantes de la institución las herramientas necesarias para desarrollar las actividades académicas con los elementos adecuados para cada práctica, generando así un ambiente propicio para la adquisición de destrezas, habilidades y conocimientos que le brindan a los egresados herramientas importantes para desarrollar sus tareas en la industria y manteniendo el prestigio de los egresados de la institución.

Este sistema se une a la red principal de aire comprimido que pasa por el taller de máquinas herramientas del bloque cinco, pasando también por el laboratorio de metrología y control numérico donde se hará un empalme con la red de polipropileno la cual se distribuirá en el laboratorio de PLC. El empalme y distribución se realiza en polipropileno que garantiza la durabilidad y eficiencia en el sistema de aire comprimido el cual incluye tomas disponibles para la utilización del sistema.

2. JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de prácticas de laboratorio en control y automatización representa una parte esencial en el proceso de formación de los estudiantes en las áreas afines de mecánica y eléctrica, ya sea de nivel técnico, superior o de entrenamiento industrial. Así la institución aportará con nuevas herramientas de aprendizaje enfocadas en las nuevas tendencias industriales.

Las actividades realizadas en los laboratorios son la parte fundamental del desempeño de los egresados de la universidad y son la base del prestigio y el buen nombre de los profesionales de la institución.

Por tal motivo es fundamental que los laboratorios de la institución cuenten con los elementos necesarios y óptimos para que los estudiantes desarrollen las habilidades y las destrezas para mantener el buen nombre la institución a nivel industrial, además la adecuación de estos espacios garantizan el mejoramiento de los contenidos de las asignaturas.

La instalación de la red de aire comprimido se basa en la importancia del desarrollo intelectual de los estudiantes para brindar un mejor desempeño académico en sus prácticas de laboratorio, ya que el aprendizaje práctico es el mejor método pedagógico que se puede adoptar hoy por hoy en las instituciones educativas.

Lo principal de este sistema es encontrar un mejoramiento en los laboratorios de prácticas los cuales necesitan los sistemas de aire comprimido, diseñando con una nueva red de aire en un material llamado polipropileno con la cual se verá un mejor funcionamiento debido a que la tubería tiene ventajas con respecto a otros tipos de tubería termoplásticas en instalaciones de aire comprimido por su durabilidad, por ser anticorrosiva y ecológica.

3. OBJETIVOS DEL PROYECTO

3.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de aire comprimido para el laboratorio de plc en el bloque cinco de la Institución Universitaria Pascual Bravo en tubería de polipropileno, que garantice la durabilidad y eficiencia del sistema.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información sobre el desempeño y utilización de un sistema de aire comprimido.
- Clasificar la información encontrada, sobre dispositivos y sistemas de aire comprimido.
- Sugerir la implementación de un material para sistema de aire comprimido en el laboratorio de PLC.
- Diseñar un sistema de aire comprimido por medio de una red, en un material de buena calidad a través de los métodos más eficientes para general el desplazamiento del aire comprimido hacia el laboratorio..

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 MARCO TEÓRICO.

El aire comprimido es hoy una fuente indispensable de energía. En el siguiente contexto se describirán el concepto general, componentes y aplicaciones de una red de aire comprimido centrándose en el diseño y distribución de la red.

4.2 ¿QUÉ ES EL AIRE COMPRIMIDO?

Es el mismo aire atmosférico, el cual ha sido impulsado a una serie de tuberías por medio de un compresor hasta equipos o procesos que aprovecha la presión de aire para desarrollar sus funciones. En resumen el aire comprimido es una fuente de energía que es aprovechada por los usuarios para hacer funcionar sistemas automáticos, herramientas neumáticas, transportadores de materiales, transformación y conservación de materiales orgánicos e inorgánicos.

El aire comprimido es utilizado ampliamente en la industria, desde los pequeños talleres hasta los grandes complejos industriales. En muchos casos el aire comprimido es tan vital que la planta no puede operar sin él. Los sistemas de aire comprimido pueden variar ampliamente en tamaño, desde unidades de menos de 5 hp, hasta sistemas de más de 50.000 hp. En muchas plantas industriales los compresores de aire son los mayores consumidores de electricidad, y por tanto las ineficiencias en el sistema de aire comprimido resultan muy costosas. Sin embargo, el personal que utiliza el aire comprimido tiende a pensar que el mismo tiene poco valor; y así, por pensar que se trata de simple aire, por la prácticamente nula peligrosidad de un escape o fuga, es muy frecuente que no se le presta atención a su ahorro y uso adecuado.¹

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

4.3 PROPIEDADES DEL AIRE COMPRIMIDO

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

¿Cuáles son las propiedades del aire comprimido que han contribuido a su popularidad?

- **Abundante:** Está disponible para su compresión prácticamente en todo el mundo, en cantidades ilimitadas.
- **Transportable:** El aire comprimido puede ser fácilmente transportado por tuberías, incluso a grandes distancias. No es necesario disponer tuberías de retorno.
- **Almacenable:** No es preciso que un compresor permanezca continuamente en servicio. El aire comprimido puede almacenarse en depósitos y tomarse de éstos. Además, se puede transportar en recipientes (botellas).
- **Temperatura:** El aire comprimido es insensible a las variaciones de temperatura; garantiza un trabajo seguro incluso a temperaturas extremas.
- **Anti-deflagrante:** No existe ningún riesgo de explosión ni incendio; por lo tanto, no es necesario disponer instalaciones anti-deflagrantes que son caras.
- **Limpio:** El aire comprimido es limpio y, en caso de faltas de estanqueidad en tuberías o elementos no produce ningún ensuciamiento. Esto es muy importante, por ejemplo, en las industrias alimenticias de la madera textiles y del cuero.
- **Constitución de los elementos:** La concepción de los elementos de trabajo es simple y, por tanto, de precio económico.
- **Veloz:** Es un medio de trabajo muy rápido y por eso permite obtener velocidades de trabajo muy elevadas. (La velocidad de trabajo de cilindros neumáticos puede regularse sin escalones).
- **A prueba de sobre-cargas:** Las herramientas y elementos de trabajo neumáticos pueden utilizarse hasta su parada completa sin riesgo alguno de sobrecargas. Para delimitar el campo de utilización de la neumática es preciso conocer también las propiedades adversas.
- **Preparación:** El aire comprimido debe ser preparado antes de su utilización. Es preciso eliminar impurezas y humedad (al objeto de evitar un desgaste

prematureo de los componentes).

- **Compresible:** Como todos los gases el aire no tiene una forma determinada, toma la forma del recipiente que los contiene o la de su ambiente, permite ser comprimido (compresión) o y tiene la tendencia a dilatarse (expansión). Con aire comprimido no es posible obtener para los émbolos velocidades: uniformes y constantes.
- **Volumen Variable:** El volumen del aire varía en función de la temperatura dilatándose al ser calentado y contrayéndose al ser enfriado.
- **Fuerza:** El aire comprimido es económico sólo hasta cierta fuerza. Condicionado por la presión de servicio normalmente usual de 700 kPa (7 bar), el límite. También en función de la carrera y la velocidad, es de 20.000 a 30.000 N (2000 a 3000 kPa).
- **Ruido:** El escape de aire produce ruido. No obstante este problema ya se ha resuelto en gran parte, gracias al desarrollo de materiales insonorizaste.

4.4 CONCEPTOS O VARIABLES RELACIONADOS CON EL AIRE COMPRIMIDO

4.4.1 Aire atmosférico: Se trata de una mezcla de gases compuesta aproximadamente de nitrógeno 78%, oxígeno 21%, argón 1%². Normalmente el aire en la atmósfera contiene cierta cantidad de vapor de agua (o humedad) y se conoce como aire atmosférico.

El aire cuenta con los siguientes datos de medida:

Presión: 101,325 kPa

14,7 psi

1 atm

4.4.2 Humedad absoluta: La humedad absoluta es la cantidad de vapor de agua que se encuentra por unidad de volumen en el aire de un ambiente³. Normalmente, el vapor es medido en gramo y volumen de aire se mide en metros

² <http://www.locosporlageologia.com.ar/tag/aire-atmosferico/>

³ <http://www.ecologiahoy.com/humedad-absoluta-especifica-y-relativa>

cúbicos. Midiendo la humedad absoluta, lo que hacemos es determinar la cantidad de vapor que contiene el aire.

4.4.3 Humedad relativa: La humedad relativa es la humedad que posee una masa de aire en relación a la mayor cantidad de humedad absoluta que podría llegar a contener sin que se produzca ninguna condensación, es decir conservando la misma temperatura y presión atmosférica. Esta humedad es expresada en porcentajes.

Para hallarla se puede utilizar un higrómetro

4.4.4 Presión: La presión se define como la fuerza que actúa sobre unidad de superficie.

Fórmula 1. Cálculo de presión⁴

$$p = \frac{f}{A}$$

Donde F = Fuerza [N ó Kgf]

P = Presión [Pa ó kgf/cm²]

A = Área [m² ó cm²]

Según el SI, la presión debe expresarse en Pascal (Pa).

Fórmula 2. Presión en Pascal (Pa)²

$$Pa = \frac{N}{m^2}$$

Las unidades de presión comúnmente adoptadas en la práctica y para las aplicaciones de la neumática son: el bar, el kg/cm² y la atmósfera técnica. La siguiente identidad considera como equivalentes:

$$1 \text{ bar} = 1 \text{ atm} = 1 \text{ kg/cm}^2$$

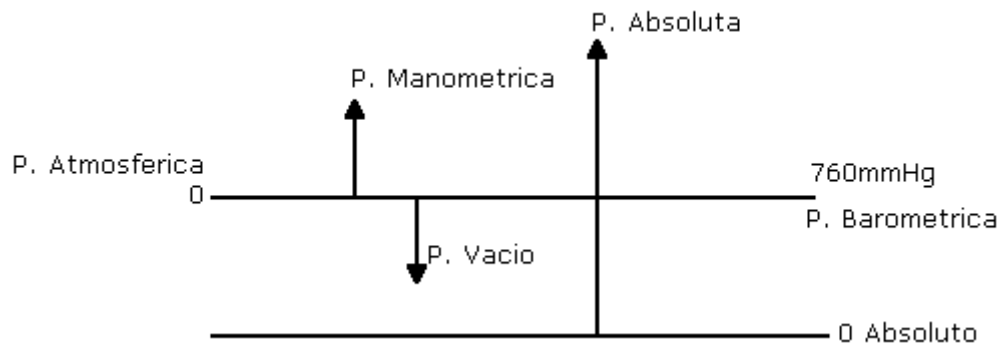
Al confinar un gas en un recipiente, el choque de las moléculas entre sí y con las paredes del recipiente es lo que origina la presión. Al comprimir el gas paulatinamente se aumentará el choque de las partículas, por tener menos área

⁴ Empresas Públicas de Medellín, seminario Hidráulica y Neumática aplicada, mayo- junio 1999, pág., 2

de acción, aumentando por ende la presión. La presión es usualmente medida por un manómetro que registra la diferencia entre la presión en un recipiente y la presión atmosférica. La presión tomada en el manómetro no es la presión verdadera, para obtener la presión verdadera es necesario adicionar la presión manométrica.⁵

- **Presión barométrica o atmosférica:** es la presión atmosférica absoluta existente en la superficie en la superficie de la tierra, varia con la altitud y con el contenido de vapor de agua. A nivel del mar es 14.69 PSI.
- **Presión manométrica o relativa:** es la medida de la presión sobre la presión atmosférica, es la que se indica en los manómetros PSIG (Pound Square Inche Gauge).
- **Presión absoluta:** es la medida de presión sobre el cero absoluto o vacío absoluto.
- **Vacío:** es la presión resultante por debajo de la presión atmosférica, es la presión negativa. Normalmente la presión de vacío se expresa en pulgadas de agua o de mercurio.

Figura 1. Diagrama Relación entre presiones



Fuente: Disponible en internet

<<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202002/Presi%C3%B3n/como.htm>.

>Tomado mayo 20 de 2013

⁵ Mecánica de Fluidos y Recursos Hidráulico, <http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/es/maquinashidraulicas/comprimido/comprimido.htm>, diciembre 2009

4.4.5 Caudal: Por caudal se entiende la cantidad de aire que suministra el compresor. El caudal se expresa en m³/min ó m³/h.

Si un fluido fluye por un tubo de sección variable, el volumen que pasa por unidad de tiempo es mismo, independientemente de la sección. La velocidad del fluido varía⁶.

Fórmula 3. Cálculo de Caudal⁵

$$Q = \frac{V}{t}$$

Dónde: Q= Caudal [l/min]

V= Volumen[l]

t= Tiempo [min]

$$V = A.S$$

Dónde: A= Área de la sección [cm²]

S= Espacio o desplazamiento [cm]

Luego: $Q = \frac{A.S}{t}$ y como velocidad $V = \frac{S}{t}$

Obtenemos: $Q = v..A$

El compresor toma una determinada masa de aire la cual ocupa un volumen inicial, con presión atmosférica y temperatura ambiente del sitio de ubicación, este equipo fuerza el ingreso de esta masa de aire a la tubería y al sistema, de manera que en este se tiene esa misma masa de aire ocupando un volumen menor, a una presión mayor que la atmosférica y con una temperatura mayor que la ambiente.⁷

⁶ Empresas Públicas de Medellín, seminario Hidráulica y Neumática aplicada, mayo- junio 1999, pág., 6

⁷ Kaser compresores de Colombia Ltda., Manual de aire comprimido, octubre 2003, Mariluz Acevedo Rocha, pág. 1-1

4.4.6 Volumen: El volumen de una sustancia es el espacio que ella ocupa.⁸

La unidad para medir volúmenes en el Sistema Internacional es el metro cúbico (m³) que corresponde al espacio que hay en el interior de un cubo de 1 m de lado.

Con respecto a compresores volumen es la cantidad de aire que produce un compresor, o bien la que requiere una herramienta neumática.

4.4.7 Capacidad: La capacidad es el parámetro básico para la especificación de los compresores, y es la cantidad de aire en la unidad de tiempo que suministra el compresor entre las presiones de trabajo.

Las unidades que se maneja generalmente son:

- **CFM (Cubic Feet Minute):** Pies cúbicos por minuto actuales. La calificación CFM refiere al volumen de aire que el compresor puede suministrar.

La calificación CFM refiere al volumen de aire que el compresor puede suministrar.

Un compresor es definido por su caballaje (HP)

Por cada HP que posee un compresor, genera 3.75 CFM

- **SFCM (Standard Feet Cubic Minute):** Pies cúbicos por minutos a condiciones standard. Las especificaciones de un compresor de aire CFM también debe incluir la presión atmosférica, la presión del aire ambiente, temperatura y humedad, con el fin de obtener cifras precisas y comparables. El término pies cúbicos estándar por minuto (scfm) incorpora estas variables⁹.
- **FAD (Free Air Delivery):** Aire libre entregado. Es valor real de aire entregado bajo las condiciones de trabajo, teniendo en cuenta las pérdidas del sistema. Es la medida que determina la capacidad y la eficiencia del compresor.

⁸ Departamento de comunicaciones de Atlas Copco, Aire comprimido y su aplicación en la industria. Atlas copco

⁹ [En línea] http://www.ehowenespanol.com/scfm-comparacion-cfm-compresor-aire-hechos_70856/

4.4.8 Punto de rocío: Es la temperatura a la cual el vapor de agua contenido en el aire atmosférico comienza a precipitarse en forma de condensado. Por lo tanto es una medida del contenido de humedad del aire¹⁰.

El contenido de vapor de agua en la atmósfera depende de la temperatura.

Considerando como una medida del contenido de vapor de agua en el aire a la relación de mezcla de saturación, su dependencia con la temperatura se da en la siguiente tabla.

Tabla 1. Valores típicos de saturación del aire atmosférico a nivel del mar

T°C	-20	-10	0	5	10	15	20	25	30	35
rs g/kg	0.75	2	3.5	5	7	10	14	20	26.5	35

Fuente: Disponible en internet

<<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBerger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202002/Presi%C3%B3n/como.htm>>
Tomado mayo 20 de 2013

4.4.9 Eficiencia del sistema: Al adquirir un sistema de aire comprimido se debe considerar la energía requerida. Existe un indicador que muestra la eficiencia del compresor: la energía específica o potencia específica, la cual es la relación entre el caudal entregado y la energía necesaria para producirlo a una determinada presión⁵.

Fórmula 3. Energía específica

$$ee = \frac{\text{caudal}}{\text{potencia}}$$

El mejoramiento de la eficiencia energética en estos sistemas puede permitir la reducción del 20 al 50% del consumo de electricidad de los mismos, lo cual puede significar miles o cientos de miles de dólares de ahorros potenciales anuales. Un

¹⁰ Kaser compresores de Colombia Ltda., Manual de aire comprimido, octubre 2003, Mariluz Acevedo Rocha, pág. 4-4

sistema de aire comprimido bien operado ahorra energía, reduce el mantenimiento, disminuye las interrupciones productivas, incrementa la productividad y mejora la calidad. En los sistemas de aire comprimido se puede diferenciar el lado del suministro, que incluye a los compresores y los equipos de tratamiento del aire, y el lado de la demanda, que está compuesto por el sistema de almacenamiento y distribución y los equipos de uso final del aire comprimido. Para lograr que un sistema de aire comprimido garantice el suministro estable de aire seco, limpio, a las presiones requeridas y de una forma segura y económica, se requieren acciones tanto del lado del suministro, como del lado de la demanda, así como en sus interacciones.¹¹

4.4.10 Calidad del aire requerido: La calidad de aire está determinada por la proporción de humedad y de contaminación (partículas de polvo o aceite) que permita la aplicación final del mismo. En general, se utilizan 4 niveles de calidad en función de su aplicación. En la industria se utiliza alguno de los tres primeros, como enseguida se describe:

- **Aire de planta:** Aire que debe estar relativamente sucio y húmedo. Por sus características, es empleado en herramientas neumáticas y para usos generales.
- **Aire para instrumentos:** Aire con cantidades de humedad y suciedad moderadas, por lo que es usado en laboratorios, sistemas de aplicación de pintura por roció o pintura en polvo, controles de climas, etc.
- **Aire de proceso:** Aire con muy poca humedad y casi nula suciedad; por sus características, es utilizado en la industria química, alimenticia, farmacéutica y electrónica.
- **Aire para respiración:** Aire sin humedad y totalmente libre de aceite y polvos, por lo que se usa para recargar tanques de equipos de buceo, en hospitales, consultorios dentales, etc.

Como podemos ver, la calidad del aire comprimido va desde el aire de planta hasta el de alta calidad, como el requerido en respiradores artificiales. Estas calidades se pueden obtener a través de equipos de secado para controlar el nivel de humedad, y por filtración, para el caso de partículas de polvo y aceite¹².

Es importante subrayar que a mayor calidad del aire, mayor será el costo para

¹¹ [En línea] Universidad autónoma de Occidente, Eficiencia energética en los sistema de aire comprimido <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/aire.pdf> , pág., 1

¹² [En línea] Modulo teórico para optimización de la generación y distribución del aire comprimido, José Armando Martínez, bdigital.uao.edu.co/bitstream/10614/412/.../T0003330.pdf pág., 21

producirlo, porque una alta calidad de aire usualmente implica equipo adicional, el cual no únicamente incrementa la inversión del capital inicial, sino que también hace que el sistema global sea más caro de operar en términos de consumo de energía y costos de mantenimiento.

Como se ha mencionado, uno de los principales factores cuando se determina la calidad del aire comprimido, es si este puede o no estar libre de aceite. El aire comprimido libre de aceite puede ser producido con alguno de los compresores denominados libres de aceite, o con compresores que utilizan lubricación por inyección pero que tienen equipo adicional de separación y filtración de aceite.

4.4.11 Perfil de demanda: Un la evaluación de la variación de los requerimientos de aire a lo largo del tiempo. Las plantas con amplias variaciones en la demanda necesitarán que el sistema opere eficientemente a cargas parciales, y en este caso la instalación de varios compresores con un control secuencial puede ser la alternativa más económica. Sin embargo, en los casos en que el perfil de demanda sea plano, podrían aplicarse otras estrategias de control más simples y de menor costo inicial.

Al evaluar el perfil de demanda, debe tomarse en consideración que un incremento en la presión por encima de la necesaria, provoca una demanda artificial en las aplicaciones finales no reguladas¹³.

El aire comprimido es probablemente el portador energético secundario de más costo en una planta, sin embargo, por ser limpio, por estar siempre disponible y tener muchas facilidades para su empleo, se utiliza en muchos casos para aplicaciones en las que otros portadores energéticos pueden resultar más económicos.

Como regla general el aire comprimido debe utilizarse solo si se incrementa la seguridad de operación, si se logra un aumento significativo de la productividad, o una reducción de la mano de obra, ya que la eficiencia energética global típica de un sistema de aire comprimido es solo de un 10%. En los casos en que se utilice el aire comprimido para una aplicación dada, la cantidad de aire debe ser la mínima requerida, a la presión más baja posible y durante el menor tiempo.

4.4.12 Usos del aire comprimido: El aire comprimido tiene aplicaciones en diversos tipos de la industria:

¹³ [En línea] Universidad autónoma de Occidente, Eficiencia energética en los sistema de aire comprimido <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Tecnologias/aire.pdf> , pág., 1

4.4.13 Baja Presión: Desde presión atmosférica hasta 2 veces este valor.

- Transporte neumático para material granulado o polvos.
- Ordeño
- Aire o agitación de tanques con agua residual, alimentos, sustancias químicas, etc.
- Extracción de vapores tóxicos o explosivos en recipientes cerrados.
- Oxigenación de procesos de combustión.
- Optimización de procesos de combustión.
- Aspersión de líquidos.

4.4.14 Media Presión: Desde 90 psi hasta 205 psi

- **Fabricas:** Acondicionamiento de cilindros neumáticos, válvulas, procesos automatizados, taladros y herramienta neumática. Sistemas de monitoreo y control de proceso, procesos de limpieza, soplado e inyección de plásticos, soplado de mangas de colectores de polvos, limpieza interna de recipientes, aplicación de pintura, remache, producción de oxígeno, nitrógeno y otros gases, etc.
- **Hospitales:** Ventiladores en las unidades de cuidados intensivos y producción de oxígeno.
- **Laboratorios:** Agitación de líquidos, aspersión de líquidos, pruebas, generación de vacío, limpieza de piezas, etc.

4.4.15 Alta Presión: Desde 205 psi hasta 600 psi

- Soplado de botellas en PET u otros materiales.

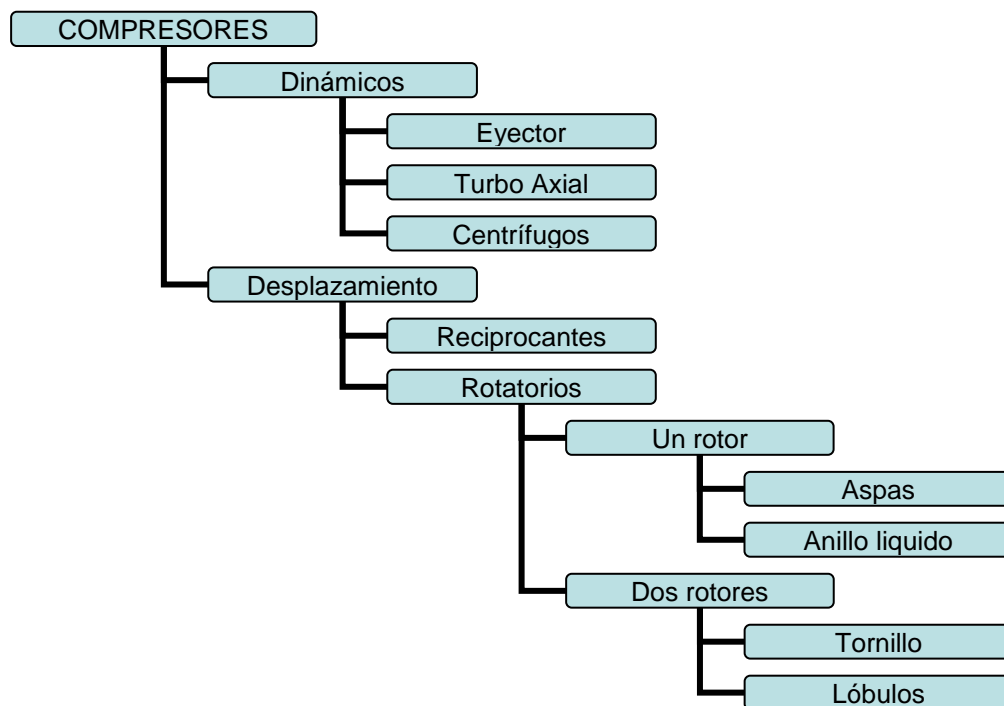
4.5 GENERACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

Para la generación del aire comprimido son necesarios varios componentes importantes y es necesario su conocimiento para su diseño y buena selección en cada proceso determinado.

En un sistema neumático la energía del sistema se obtiene vía el compresor que aspira aire atmosférico y lo comprimen hasta transferirle una presión superior.

Hay distintos tipos de compresores, pero básicamente se pueden agrupar en los de desplazamiento fijo y dinámico o turbocompresores.

Figura 2. Clasificación de compresores de aire



Fuente: Manual de aire comprimido. Kaser compresores de Colombia Ltda. Tomada en mayo 17 de 2013.

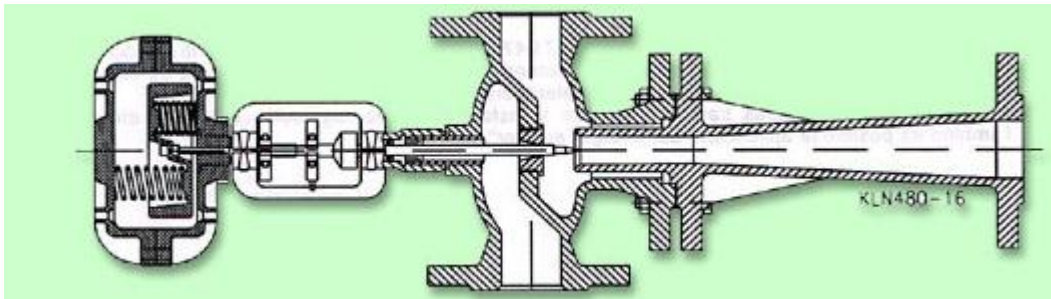
4.6 COMPRESORES DINÁMICOS

Los elementos esenciales de un compresor centrífugo son:

- Un elemento rotativo que consta de un eje y un impulsor.
- Un elemento estacionario que consta de carcasa, rodamientos, difusor, entre otros.
- El aire es forzado a entrar por la presión atmosférica a un conjunto de aspas o alabes rotativos que constituyen un impulsor que descarga aire a una presión y a una velocidad más alta en su periferia. La mayor parte de la energía de la velocidad es convertida en presión¹⁴.

4.6.1 Eyector: Los eyectores son equipos que permiten transportar, comprimir o mezclar gases, vapores, líquidos o sólidos con la ayuda de un fluido motriz gaseoso o líquido. Los eyectores convierten la energía potencial del fluido motriz en energía cinética, en unas toberas especialmente diseñadas para esto, creando al mismo tiempo un vacío en el fluido de aspiración. Son bombas sin elementos rotativos.¹⁵

Figura 3. Eyector de aire.



Fuente: Disponible en internet <http://www.reypro.com/index.htm>. Tomada mayo 21 de 2013.

4.6.2 Turbo axial: Se caracterizan, y de aquí su nombre, por tener un flujo axial en forma paralela al eje. El gas pasa axialmente a lo largo del compresor, que a través de hileras alternadas de paletas, estacionarias y rotativas, comunican

¹⁴ Kaser compresores de Colombia Ltda., Manual de aire comprimido, octubre 2003, Mariluz Acevedo Rocha, pág. 3-1

¹⁵ [En línea] <http://www.geape.es/gpees/cmsdoc.nsf/webdoc/webb7zdpnn>, GEA Process Engineering Spain, Eyectores (Jet Pumps), marzo 2013

cierta velocidad del gas o energía, que después se transforma en presión. La capacidad mínima de este tipo de compresores, viene a ser del orden de los 15 metros cúbicos por segundo.

Utilizan un tambor de equilibrio para contrarrestar la reacción o empuje axial.

Debido a su pequeño diámetro y para un mismo tipo de trabajo, funcionan a velocidades más elevadas que los compresores centrífugos. Estas velocidades son superiores en un 25% aproximadamente.

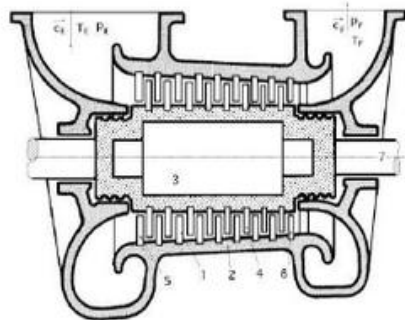
Se destinan a aquellas aplicaciones, en que es preciso disponer de un caudal constante a presiones moderadas.

Los compresores axiales son más adecuados, para aquellas plantas que precisen grandes y constantes caudales de aire.

Una aplicación muy frecuente es el soplado de los altos hornos.

Normalmente se utilizan para capacidades alrededor de los 65 metros cúbicos por segundo y para presiones efectivas de hasta 14 bares¹⁶.

Figura 4. Turbocompresores axiales.



1) Corona fija; 2) Estator; 3) Tambor; 4) Corona móvil de un escalonamiento;
5) Corona directriz de entrada; 6) Corona directriz final; 7) Eje
Fig. VI.4.- Esquema del corte longitudinal de un turbocompresor axial

Fuente: Disponible en internet.

<http://www.slideshare.net/tomislavz/presentacinturbocompresores-axiales>. Tomado mayo 23 de 2013.

¹⁶ Universidad de oriente, estudio de los problemas asociados con el proceso de separación flash en las plantas típicas de compresión de gas natural, J. SALAZAR M. LAURA C., J. SALAZAR M. LAURA C. Octubre 2008.

4.6.3 Centrífugos: En los compresores centrífugos, el desplazamiento del fluido es esencialmente radial. El compresor consta de uno o más impulsores y de números de difusores, en los que el fluido se desacelera.

El fluido aspirado por el centro de una rueda giratoria, ojo del impulsor, es impulsado por los álabes de ésta y debido a la fuerza centrífuga, hacia los canales del difusor. Después que la energía cinética se ha convertido en presión, el fluido es conducido hacia el centro del próximo impulsor y así sucesivamente.

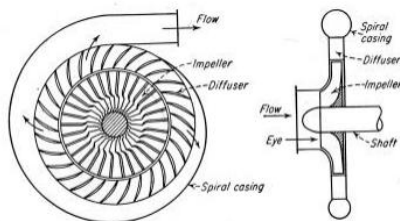
Las velocidades de funcionamiento son bastante altas comparadas con otros compresores. La gama comprendida entre 50.000 - 100.000 r.p.m. es bastante frecuente en industrias aeronáuticas y especiales donde el peso es un factor dominante.

Los compresores centrífugos, con velocidades próximas a las 20.000 r.p.m. suele ser la gama comercial más común, aun cuando están fabricando con velocidades un tanto mayores.

Debido a las elevadas velocidades con que se construyen los compresores dinámicos de tamaño medio, se utilizan cojinetes amortiguadores inclinados o abiertos en lugar de los rodillos, que son los que se incorporan a los compresores de desplazamiento.

El caudal mínimo de un compresor centrífugo, está limitado principalmente por el flujo de la última etapa¹⁷.

Figura 5. Turbocompresor centrífugo.



Fuente. Disponible en internet. <http://materias.fi.uba.ar/6720/unidad3.PDF>. Tomado mayo30.

¹⁷ [En línea] www.profesaulosuna.com/.../COMPRESORES/ Compresores, Jorge González Delfín, pág. 3

4.7 COMPRESORES DE DESPLAZAMIENTO

En todos los compresores de desplazamiento, una masa de aire encapsulada en es sometida a una reducción del volumen, luego a una ampliación y luego a una reducción nuevamente. Debido a la reducción del volumen, se genera un incremento de presión (compresión interna). Si la presión en la cámara de compresión excede la presión límite en el tanque acumulador o en la línea principal, la válvula de alivio de presión se abre (para compresores reciprocantes)¹⁸.

4.7.1 Reciprocantes: Los compresores reciprocantes son básicamente un pistón que comprime el aire en una camisa formando una cámara de compresión.

Lo que permite que funcionen los compresores de pistón es el movimiento hacia adelante y hacia atrás de los pistones al interior de un cilindro. El movimiento continuo del pistón se apoya en el uso de un cigüeñal y una varilla de conexión que hará las veces de guía para el movimiento.

Los compresores de pistón pueden tener un único cilindro que le dé una capacidad de compresión baja, aunque se les puede agregar una mayor cantidad de cilindros, lo que aumente exponencialmente su capacidad de compresión y el nivel de presión al que se somete el flujo dentro de los compresores.

Cuando se tienen varios cilindros con varios pistones, la presión del fluido aumenta de un cilindro a otro, es decir, en el primer cilindro se le aplica una presión determinada al fluido, a esta presión se le sumará la presión del segundo y así sucesivamente¹⁹.

¹⁸ Kaser compresores de Colombia Ltda., Manual de aire comprimido, octubre 2003, Mariluz Acevedo Rocha, pág. 3-3

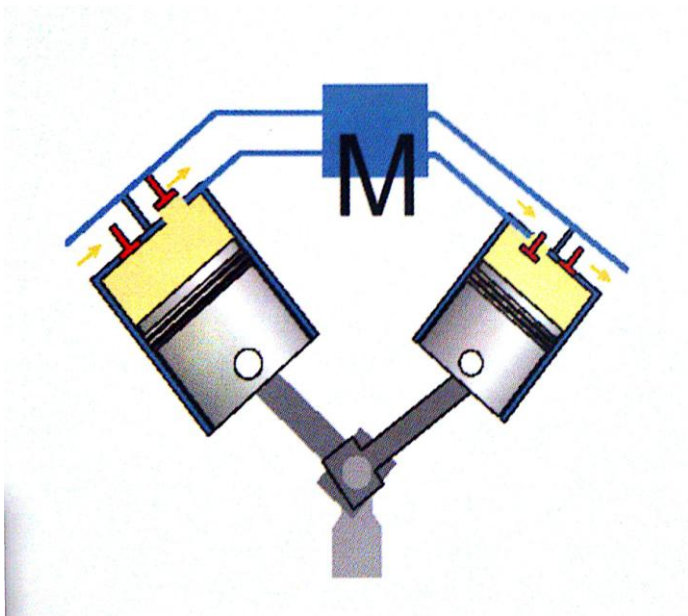
¹⁹ [En línea] QuimiNet.com, <http://www.quiminet.com/articulos/los-compresores-de-piston-y-sus-ventajas-2681333.htm>, marzo 2013.

Figura 6. Compresor recíprocante de una etapa.



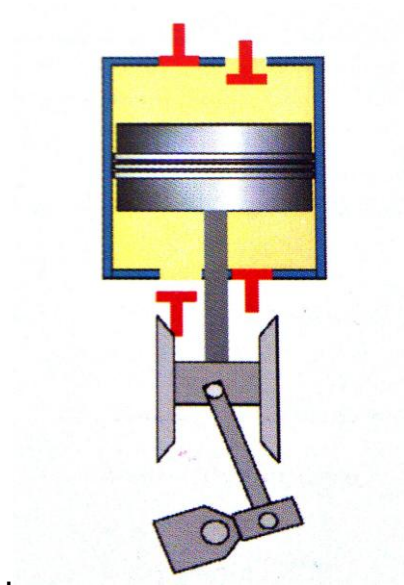
Fuente: Manual de aire comprimido. Kaser compresores de Colombia Ltda. Tomado mayo 29.

Figura 7. Compresor recíprocante de dos etapas.



Fuente: Manual de aire comprimido. Kaser compresores de Colombia Ltda. Tomado mayo 29.

Figura 8. Compresor recíprocante de doble efecto



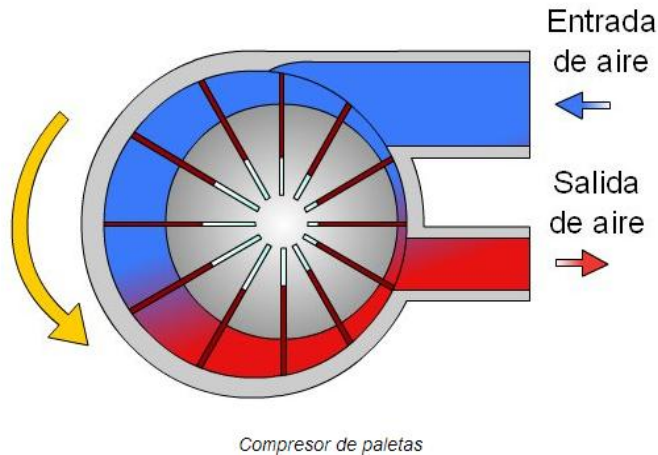
Fuente: Manual de aire comprimido. Kaser compresores de Colombia Ltda. Tomado mayo 29

4.7.2 Rotarios²⁰

- **Un rotor. Aspas:** Consta de un rotor montado en forma excéntrica dentro de un cilindro con camisa de agua. Las paletas tienen la libertad de movimiento radial dentro de las ranuras longitudinales. La fuerza centrífuga impulsa las paletas hacia la pared del cilindro y crean compresión en los espacios sellados, el tamaño del espacio se reduce a medida que avanza la rotación, de esta manera la compresión ocurre. Este tipo de compresores se utilizan en perforación de pozos por chorro de aire, recuperación de vapores químicos, entre otros.

²⁰ Kaser compresores de Colombia Ltda., Manual de aire comprimido, octubre 2003, Mariluz Acevedo Rocha, pág. 3-3

Figura 9. Compresor de paletas



Fuente: Disponible en internet

http://www.portaleso.com/usuarios/Toni/web_neumatica/neumatica_indice.html.

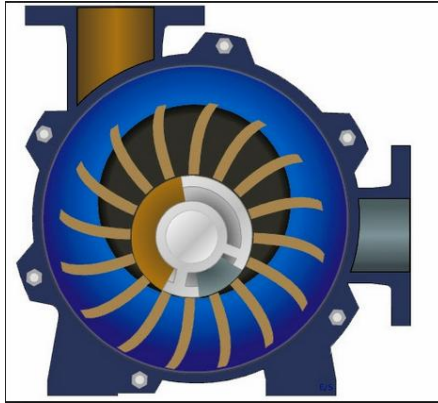
Tomado mayo 13 de 2013.

Anillo líquido: El anillo líquido toma su nombre por su principio de operación. Un líquido frío es introducido alrededor de la cubierta del impulsor y debido a la fuerza centrífuga, forma un anillo concéntrico alrededor de la cubierta del impulsor. El impulsor está excéntricamente montado en la cubierta formando celdas en la parte donde está más cerca de la cubierta debido a los alabes del impulsor. Un puerto de succión es colocado en la parte donde los alabes están más separados de la cubierta.

Este puerto conduce el gas dentro de las celdas donde la presión es más baja. El gas introducido dentro de las celdas es comprimido por la operación del líquido en el área donde los alabes están más separados de la cubierta. Un puerto de descarga es colocado como conducto para descargar el gas comprimido de la bomba. Ya que el líquido absorbe el calor generado durante la compresión, una pequeña cantidad de líquido frío es continuamente introducido por el puerto de servicio de líquido y el exceso de líquido caliente es descargado con el gas en una corriente de gas/líquido. El líquido que se usa para formar el anillo líquido debe estar frío para mejorar el funcionamiento²¹.

²¹ [En línea] Bombas industriales y vacío, <http://www.tecbovac.com.mx>, marzo 2013

Figura 10. Compresor de anillo líquido



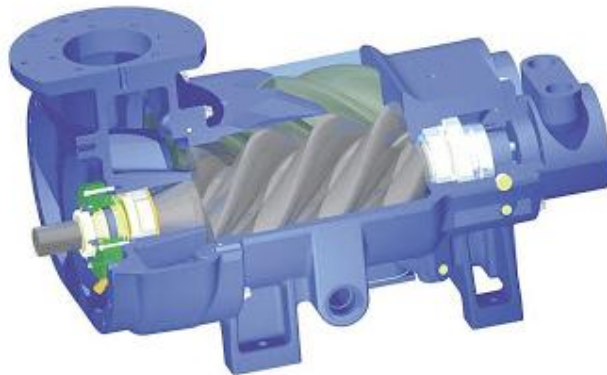
Fuente: Disponible en internet < <http://www.gdnash.com.br/esp/index2.html>. Tomado mayo 13 de 2013.

- Dos aspas: a continuación se relacionan los tipos de compresores de esta clase.
 - **Tornillo:** Los compresor de aire de tornillo rotativo se ha convertido en la fuente más popular de aire comprimido para aplicaciones industriales. Una de las razones principales es su simple concepto de compresión.

El aire entra en una cámara sellada donde es atrapado entre dos rotores contra-rotativos. Cuando los rotores se engranan, reducen el volumen de aire atrapado y lo suministran comprimido al nivel de presión correcto. Este simple concepto de compresión, con enfriamiento de contacto continuo, permite que el compresor de aire de tornillo rotativo funcione a temperaturas de aproximadamente la mitad de la generada por un compresor de pistones. Esta baja temperatura permite que el compresor de aire de tornillo rotativo funcione en un ciclo de servicio continuo "a plena carga" 24 horas al día, 365 días al año, si es necesario²².

²² [En línea] AmeTrade, http://amettrade.com/sp/air/products/rotary_screw_compressors.shtml, marzo 2013

Figura 11. Compresor de tornillo



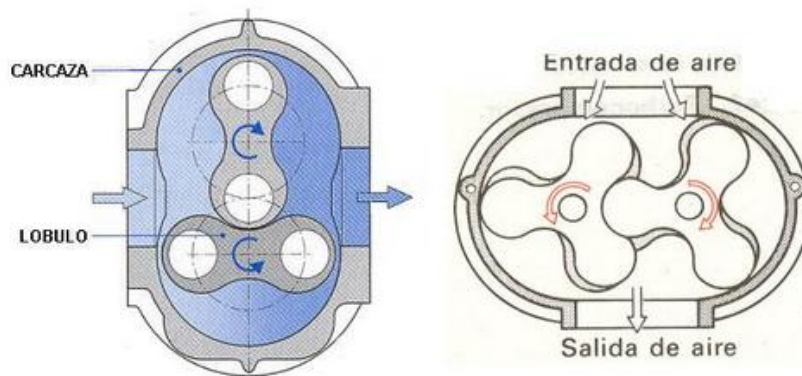
Fuente: Disponible en internet <http://raa-juarez-ocaguera-jovany.blogspot.com/2010/10/compresor-de-tipo-tornillo.html>. Tomado mayo 23 de 2013.

- **Lóbulos o Roots:** Los compresores de lóbulos son conocidos como sopladores. Consiste en dos rotores idénticos sincronizados giran en direcciones opuestas. Como cada lóbulo pasa por la entrada del aire, lo atrapa y lo lleva contra la carcasa.

El aire atrapado es forzado contra el costado de la carcasa aumentando su presión y llevándolo a la descarga del soplador.

Se utilizan para aplicaciones a presión máxima dos veces la presión atmosférica; o para aplicaciones en vacío mínimo del 50% de la presión atmosférica.

Figura 12. Compresor de Lóbulo










Fuente: Disponible en internet < <http://www.fullmecanica.com/c/compresor-de->

lobulos. Tomado mayo 23 de 2013.

A continuación se muestra una tabla-resumen con las características más resaltantes de los compresores mencionados.

Tabla 2. Resumen de características de compresores de aire

RESUMEN DE CARACTERISTICAS DE COMPRESORES DE AIRE (Típicos pero no limitantes)							
Renglón	Compresores de desplazamiento					Dinámicos	
	Reciprocantes		Rotativos			Centrífugos	Axial
	Simple efecto	Doble efecto	Lóbulos	Aletas	Tornillo		
							
Capacidad	Independiente de la presión (excepto lóbulos) Aumenta con velocidad del eje					Decrece con la presión Aumenta con la	
Rango de velocidad (l/s)	0 - 105	105 - 1500	0 - 2x10 ⁴	0 - 3x10 ³	Lubricado 30 - 10 ³ Seco 30 - 10 ⁴	500 - 10 ⁴	10 ⁴ - 3x10 ³
Regulación de capacidad	Válvula de descarga	Válvula de descarga	NO	Estrangulamiento de entrada. Salida ajustable	Estrangulamiento de entrada. Alabes Guía móviles.		
Tipo de flujo	Estable Pulsante	Estable pocas Pulsaciones	Estables fuertes pulsaciones	Estable muy pocas pulsaciones. Alta frecuencia	Estable fuera de límite de pérdida. Sin pulsaciones		
Etapas	1 - 4	1 - 6	1 - 2	1 - 2 (3)		1 - 6	10 - 25
Rango de presiones MPA	0.1 - 50 1 - 0.7 2 - 3.0 3 - 10 4 - 30	0.1 - 100 1 - 0.45 2 - 2.1 3 - 3.5	1 - 0.11 2 - 0.25	1 - 0.4 2 - 1.0	Lubricado 1 - 0.9 Seco 1 - 0.35 2 - 1.0	0.3 - 0.8	0 - 0.6
Enfriamiento	Agua o aire	Agua o aire	Ninguno	Agua o aire	Agua o aire	Agua generalmente	
Lubricación de la cámara de compresión	Lubricados o Secos	Lubricados o Secos	Seco	Lubricados o Secos	Lubricados o Secos	Secos	
Número de cilindros/lóbulos	1 - 4	1 - 3	2	1 - 2		1 - 2	1 - 4
Rango de rpm	600 - 1800	300 - 1000	600 - 3600	400 - 3600	1000 - 20000	5000 - 80000	6000-20000
Variaciones en el torque de entrada	Depende del N° de cilindros y su arreglo		Pequeño		Muy pequeño		Ninguno
Método de accionamiento	Acople directo Bridas Correas		Acople directo Correas		Directo Engranaje	Directo o por Engranaje	

Fuente: Manual sobre aire comprimido y aplicaciones en la industria. Atlas copco, pág 104. Tomado mayo 16 de 2013.

4.8 SELECCIÓN DEL COMPRESOR

El proceso de selección de un compresor suele ser el punto más importante en el diseño de una red de aire comprimido, debido que de él depende el buen funcionamiento del proceso. Este suministra la capacidad requerida para satisfacer y dar rendimiento en al trabajo al que será suministrado.

Para seleccionar un compresor se deben considerar los siguientes criterios:

4.8.1 Condiciones generales de trabajo del compresor: Se debe tener en cuenta que las condiciones ambientales disminuyen el volumen de aire entregado por unidad de tiempo, esto se relaciona directamente con la densidad del aire, es decir, el volumen que es desplazado por el compresor es el mismo independiente de la ubicación del compresor, pero debido a que la densidad del aire varia, la nada varia.

Para realizar éste cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula 4. Cálculo de caudal del compresor

$$scfm = \frac{FAD \times \left[\frac{(psi(a) \times 144)}{53.53 \times (temp.(a) + 460)} \right] - \frac{RH(a)}{SVSV(a)}}{\left[\frac{(psi(s) \times 144)}{53.53 \times (temp).(s) + 460} \right] - \frac{RH(s)}{SVSV(s)}}$$

En donde:

FAD = cfm FAD Aire libre entregado

Sfcm:= cfm referido a condiciones estándar

psi (a)= Presión actual absoluta

psi (s) = Presión estándar absoluta (14.5)

Temp (a)= Temperatura actual ambiente (en °F)

Temp (s)= Temperatura estándar (en °F -68°F)

RH (a)= Humedad relativa actual

RH (s)= Humedad relativa estándar (0%)

SVSV (a)= Volumen de vapor saturado actual – Vg

SVSV (s) = Volumen de vapor saturado estándar vg

4.8.2 Presión requerida en la red: Cuando se va a seleccionar un compresor es importante saber la presión de trabajo de los usuarios del aire comprimido, teniendo en cuenta lo siguiente:

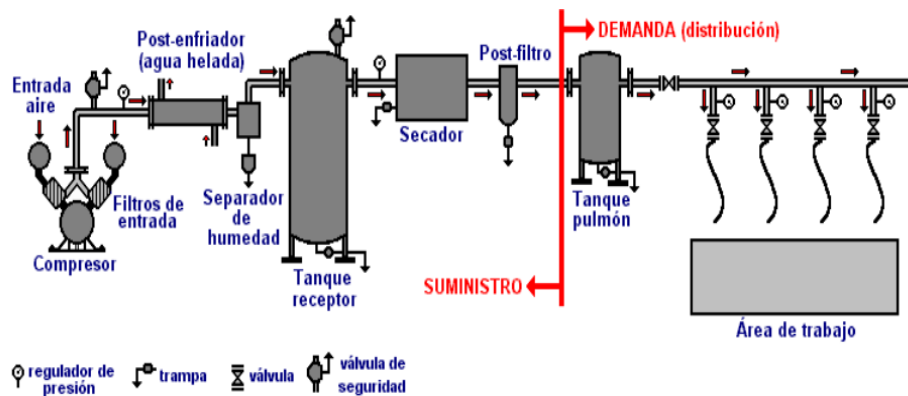
Diferentes presiones en la red, en algunos casos se presenta el caso que no todos los usuarios pueden trabajar con la misma presión, algunos requieren presiones más altas. No se recomienda que el mismo compresor alimenta todas las salidas a diferentes presiones.

Las pérdidas de presión se generan por: Diámetro de tubería inadecuada, fricción interna de tubería, longitudes de tubería, accesorios, fugas, entre otros.

4.8.3 Caudal requerido en el sistema: Se requiere conocer el número de equipos que requieren el aire comprimido. Luego de conocer el caudal requerido se debe considerar un margen de seguridad para fugas y nuevos usuarios. Para calcular el caudal se utiliza la fórmula 4.

4.9 DIAGRAMA DEL SISTEMA DEL AIRE COMPRIMIDO

Figura 13. Sistema de distribución del aire comprimido



Fuente: Disponible de internet
educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio. tomado mayo 20 de 2013

Esta instalación consta de los siguientes elementos:

- Postenfriador.
- Separador de líquido.
- Tanque acumulador.
- Filtro para partículas.
- Filtro coalescente.
- Válvulas aisladoras.
- Secador de aire.
- Filtro opcional.
- Válvula solenoide de drenaje automático.
- Conexión flexible.

Además de los anteriores componentes, existe otro componente indispensable, el cual se ubica justo a la entrada de cada consumidor y conocida como unidad de mantenimiento (filtro, regulador y lubricador).

4.10 POSTENFRIADOR

El aire sale del compresor a 100°C. 150°C ó 200°C, a estas temperaturas el aire está en capacidad de retener gran cantidad de agua en forma de vapor, por tal motivo se requiere reducir su temperatura por debajo de 50°C mediante un postenfriador facilitando así la condensación y posterior remoción.

4.10.1 Postenfriador, enfriador por aire: Consiste de un radiador y un ventilador, el cual emplea el aire ambiente como medio de enfriamiento.

Figura 14. Post enfriador por aire



Fuente: Disponible de internet < <http://hankisonmexico.com.mx/>. Tomado mayo 17 de 2013.

4.10.2 Postenfriador enfriado por agua: Consiste en un intercambiador que utiliza el agua como medio refrigerante.

Figura 15. Postenfriador por agua

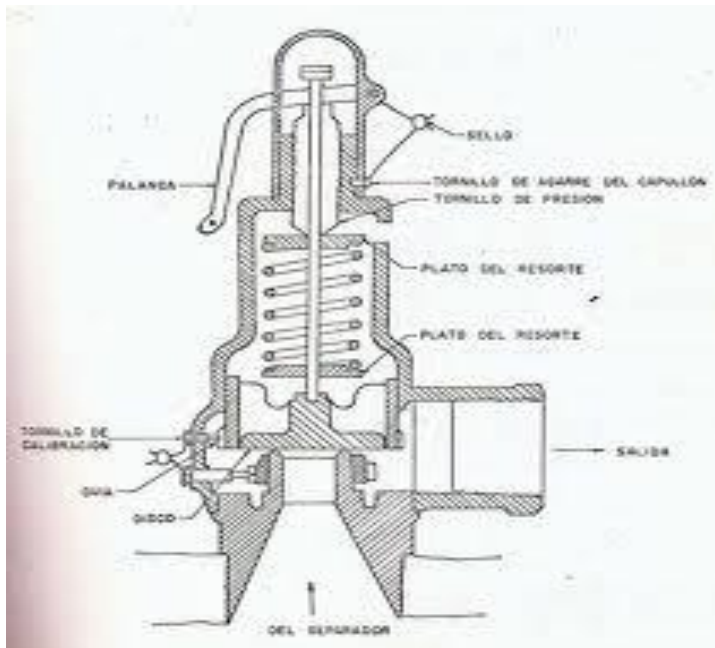


Fuente: Disponible de internet <http://www.mytisa.com.mx/aire01>. Tomado mayo 17 de 2013.

4.11 SEPARADOR DE LÍQUIDO.

Al enfriarse el aire, una parte de vapor de agua se condensa. En el separador de líquidos se combina la técnica de la fuerza centrífuga y los principios de separación mecánica para hacer perder energía a las partículas que luego caen y se depositan en el pote respectivo

Figura 16. Separador de líquido

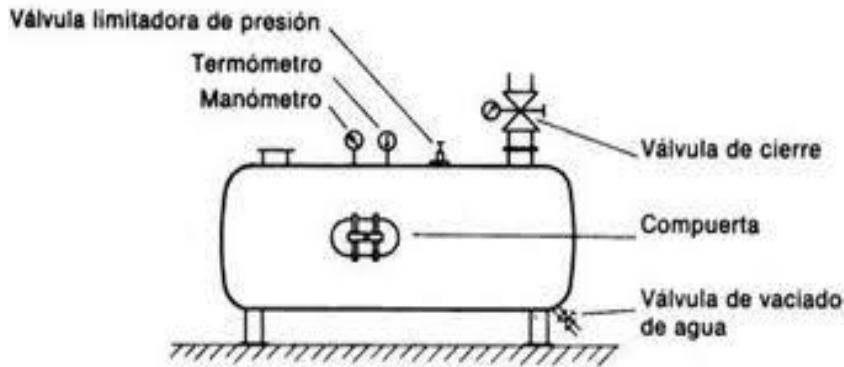


Fuente: Disponible d<http://instructivoseparador.blogspot.com/>. Tomado mayo 29 de 2013.

4.12 TANQUE ACUMULADOR O DE AIRE COMPRIMIDO

El tanque acumulador o tanque pulmón es indispensable para la operación de compresores alternativos y en algunas situaciones, resulta conveniente para los demás tipos de compresores. Este elemento permite eliminar las pulsaciones en el flujo debido al ciclo de compresión, proporciona capacidad de almacenamiento, permite eliminar la humedad del aire (actúa como sistema refrigerador) y evita ciclos cortos de carga y descarga en el compresor. El depósito debe diseñarse y dimensionarse de acuerdo con las normas de recipientes a presión y debe incluir una válvula de seguridad, un manómetro y una válvula de drenaje. Sus dimensiones se establecen según la capacidad del compresor, el sistema de regulación, la presión de trabajo y las variaciones estimadas en el consumo de aire. Es importante realizar las purgas de condensado regularmente para evitar arrastre del mismo a la red de distribución y disminuir la carga térmica de los secadores (cuando estos están después del tanque pulmón).

Figura 17. Tanque acumulador



Fuente: Disponible de internet < <http://www.monografias.com/trabajos66/sistema-transporte-aire-comprimido/sistema-transporte-aire-comprimido3>. Tomado mayo 26 de 2013.

4.13 FILTROS

El propósito de los filtros de aire comprimido es suministrar aire libre de contaminantes a los diferentes puntos de aplicación. Contaminantes tales como agua, aceite, polvo, partículas sólidas, neblinas, olores, sabores y vapores, pueden atacar su sistema.

4.13.1 Filtros de partículas: El propósito de estos retener lubricantes, emulsiones y neblinas, mediante el principio de coalescencia, el cual consiste básicamente en tener una red aleatoria de fibras, la cual ante el paso de aire, produce formación de gotas alrededor de las fibras, cayendo luego estas a un recipiente de acumulación por efecto de gravedad. Como consecuencia del diseño del filtro pueden retenerse partículas sólidas incluso de menor tamaño que las retenidas por un filtro de partículas, por esto se recomienda instalar primero un filtro de partículas antes que uno coalescente y así evitar que este se sature.

4.13.2 Filtros coalescentes: Los Filtros coalescentes proporcionan una sencilla y eficaz manera de eliminar tanto agua como contaminantes sólidos de combustibles y aceites lubricantes. Los Filtros Coalescentes no disponen de mecanismos ni piezas móviles que podrían averiarse, por lo tanto no necesitan más mantenimiento que el cambio de cartucho cuando este esté colmatado. El cartucho es de larga vida, generalmente de 1 año o más según las condiciones del fluido filtrados

4.13.3 Filtros de vapores: Son filtros diseñados para remover olores sabores y vapores orgánicos. Su principio de funcionamiento consiste en lechos de carbón activado que mediante adsorción remueven dicho.

4.14 SECADOR DE AIRE

Los secadores eliminan el agua mediante la reducción de la temperatura del punto de rocío por debajo de la temperatura mínima a la que están expuestos la red y demás equipos del sistema.

Solo pueden ser utilizados en sitios donde el punto de rocío sea mayor o igual a 0 °C ya que de lo contrario el agua se congela y obstruye la tubería.

Los métodos más frecuentes para secar el aire son:

4.14.1 Secado por enfriamiento (secador refrigerativo): En este secador se consigue la precipitación del agua del aire comprimido por simple enfriamiento. El punto practico de rocío que se logra esta entre + 2°C y + 5°C.

4.14.2 Secado por adsorción (secador desecante): El secado por adsorción trabaja atreves de un medio secante (Alúmina activa) que siguiendo los principios de la física (efecto de capilaridad) retiene el vapor de agua. El material empleado puede ser generado haciendo pasar aire caliente a través de él. Los puntos de rocío para este secado están normalmente entre -40°Cy -70°C

4.14.3 Secado por absorción (secador deliquescente): El secado se logra haciendo pasar el aire a traves de sustancias químicas. El material empleado no se genera, es decir, la solución que se forma entre el agua y este material debe ser retirada y se debe agregar nuevo material. El punto de rocío que se alcanza aproximadamente + 10°C.

4.14.4 Trampas de aire: La trampa para aire comprimido sirve para eliminar automáticamente el agua que se acumula en los puntos bajos de todo sistema de aire comprimido, permitiendo que el aire llegue seco a los sistemas y equipos

evitando la erosión y mejorando la eficiencia²³.

4.14.5 Válvulas de drenaje automático: Válvulas mecánicas. Se denominan mecánicas a los dispositivos destinados a cerrar total o parcialmente el paso de los fluidos (agua, vapor de agua, aire, etc.) por las tuberías.

Cuando abren o cierran totalmente el paso de fluido se llama válvula de cierre; cuando este paso se cierra parcialmente son válvula de estrangulamiento.

Las válvulas mecánicas se construyen de materiales muy diversos. El cuerpo o caja es, generalmente, una pieza fundida, de latón, bronce, hierro, acero, o aleaciones especiales, según sea el tamaño de la válvula y la naturaleza del fluido que circula por la tubería. También los elementos de cierre son de materiales muy variados, y están constituidos por piezas fundidas o mecanizadas, según su forma y tamaño.

Para que una válvula mecánica pueda cumplir su misión deben tenerse en cuenta las siguientes condiciones:

- El cierre ha de ser eficaz.
- Las superficies de cierre han de ser fácilmente accesibles desde el exterior para su inspección y reparación.
- No han de ocasionar grandes alteraciones de sección de la tubería y de dirección del movimiento de los fluidos que por ella circulan.

Clasificación y tipos. Existen varios criterios de clasificación. Según la estructura del elemento de cierre pueden ser:

- **Válvula de asiento:** presentan en la caja una superficie de asiento, generalmente anular, alrededor de la abertura por donde pasa el fluido, perfectamente trabajada y pulimentada y sobre la que se apoya el elemento de cierre por medio de otra superficie semejante; el cierre se produce por el contacto íntimo de ambas superficies y mediante una trayectoria rectilínea del elemento de cierre o asiento, que puede tener forma de disco, de bola, de anillo, etc. Existen válvula de asiento de paso recto y de paso angular, según que la válvula deba montarse en una tubería recta o en una tubería con cambios de dirección. Generalmente, el movimiento del elemento de cierre se efectúa por medio de un vástago roscado. El dispositivo de obturación acostumbra a ser una empaquetadura de prensaestopas.

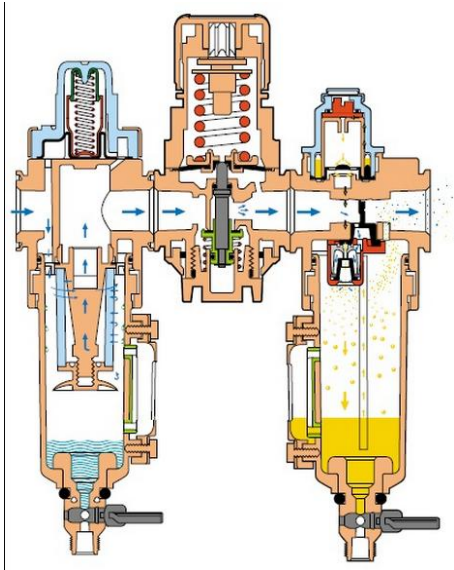
²³ <http://www.aguamarket.com/productos/productos.asp?producto=2375&nombreproducto=trampa+para+aire+comprimido+>

- **Válvula de charnela:** Se distinguen de las anteriores en que la trayectoria del elemento de cierre es circular; por lo general, el elemento de cierre también es circular y se adapta a la sección interior de la tubería. Cuando el eje de giro de este elemento no coincide con el eje de la tubería se trata de una válvula de charnela propiamente dicha. Cuando este eje de giro coincide con el de la tubería, se denomina válvula de mariposa; en ésta, cuando el elemento de cierre se sitúa en posición normal al eje de la tubería, cierra el paso de fluido y lo abre totalmente cuando se coloca en posición axial: en las posiciones intermedias, estrangula el paso de fluido.
- **Válvula de corredera:** Están constituidas por tabiques que se deslizan con movimiento rectilíneo entre guías, accionados por vástagos roscados; cuando el tabique ha descendido, obturando totalmente el paso de fluido, la válvula ha de cerrar herméticamente, por lo que se procura hacer una junta estanca mediante diferentes procedimientos (superficies pulidas, guarniciones de cuero, etc.). Las válvulas de corredera propiamente dichas se reservan para el paso de fluidos gaseosos (vapor de agua, aire, gases, etc.). Las válvula de corredera para líquidos reciben el nombre particular de válvula de compuerta y en ellas el cierre debe realizarse lentamente, ya que un cierre brusco puede provocar desperfectos en las paredes de la tubería, debido a la fuerza viva del líquido en movimiento.
- **Grifos:** La superficie de deslizamiento se hace en forma de cono truncado y la trayectoria del elemento de cierre es circular; el elemento de cierre tiene esta vez el nombre particular de macho o llave y se dispone con una parte hueca giratoria: según su posición la válvula permanece abierta o cerrada.
- **Válvula electrónica:** La válvula electrónica es un componente electrónico utilizado para amplificar, conmutar, o modificar una señal eléctrica mediante el control del movimiento de los electrones en un espacio "vacío" a muy baja presión, o en presencia de gases especialmente seleccionados a la que también se le conoce como válvula termoiónica, válvula de vacío, tubo de vacío o bulbo.

Válvula solenoide, dispositivo operado eléctricamente variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina) y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o completamente cerrada. Al circular la corriente por el solenoide genera un campo magnético que atrae el émbolo móvil, al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

Unidad de mantenimiento: La unidad de mantenimiento es una combinación de tres elementos: filtro, regulador. Se localiza a la entrada (alimentación) del consumidor que la requiera.

Figura 18. Unidad de mantenimiento



Fuente: Disponible en internet <<http://maqlab.uc3m.es/NEUMATICA>. Tomado mayo 24 de 2013.

- **Filtro:** Tiene como objetivo detener las impurezas que arrastra el aire comprimido (polvo, polen, restos de pequeñas oxidaciones, etc.). Su funcionamiento es el siguiente:

El aire penetra en el filtro por la parte superior izquierda. Una placa deflectora especialmente colocada le obliga a realizar un violento movimiento de rotación. Las partículas más pesadas y las gotitas de vapor son impulsadas por la fuerza centrífuga contra las paredes del recipiente, donde se condensa el vapor de agua., que cae al fondo del recipiente junto con las impurezas. Éstas son evacuadas al exterior a través de una abertura de vaciado tapada por un tornillo (tornillo de purga) que se encuentra en el fondo del recipiente.

Después, el aire se filtra a través de un cartucho filtrante con material poroso, que, aunque permite el paso del aire, impiden que pasen las partículas que lleva en suspensión. Los cartuchos tienen que sustituirse cada cierto tiempo, ya que, si bien siguen filtrando incluso cuando están sucios, hay que tener en cuenta que la suciedad produce mayor resistencia al flujo del aire y, como consecuencia, se reduce la presión del aire de utilización.

- **Regulador:** El regulador de presión tiene como misión mantener el aire que utiliza el circuito neumático a una presión constante, independientemente de las variaciones de presión que se produzcan.

La entrada de aire se regula mediante un tornillo que desplaza un vástago apoyado en una membrana móvil, de manera que deja pasar una cantidad constante de aire comprimido hacia el punto de utilización.

Cuando en el punto de utilización se produce un aumento de presión, la membrana retrocede cerrándose la entrada de aire y abriéndose los escapes que hacen bajar la presión del aire de utilización, por lo que la membrana recupera su posición desplazando el vástago y volviendo a abrir la entrada del aire²⁴.

- **Lubricador:** Una vez filtrado, y regulada su presión, el aire comprimido pasa a través del lubricador mezclándose con una fina capa de aceite que arrastra en suspensión hasta las partes móviles de los dispositivos neumáticos. De esta manera son lubricados disminuyendo la fricción y evitando el desgaste.

El funcionamiento del lubricador es el siguiente:

Al pasar el aire por el estrechamiento que hay en el lubricador, aumenta la velocidad y disminuye la presión.

La bajada de presión produce un efecto de succión, de manera que el aceite que permanece en el fondo del recipiente es aspirado por el extremo del tubo sumergido en él y sube a través de dicho tubo hasta la cámara superior (cámara de goteo).

En la cámara de goteo se forman gotas que se precipitan a través del fino conducto situado en su parte inferior hasta la zona donde se encuentra el estrechamiento por el que circula el aire comprimido; allí, la velocidad del aire lo pulveriza y lo convierte en una fina niebla de aceite que el aire arrastra en suspensión.

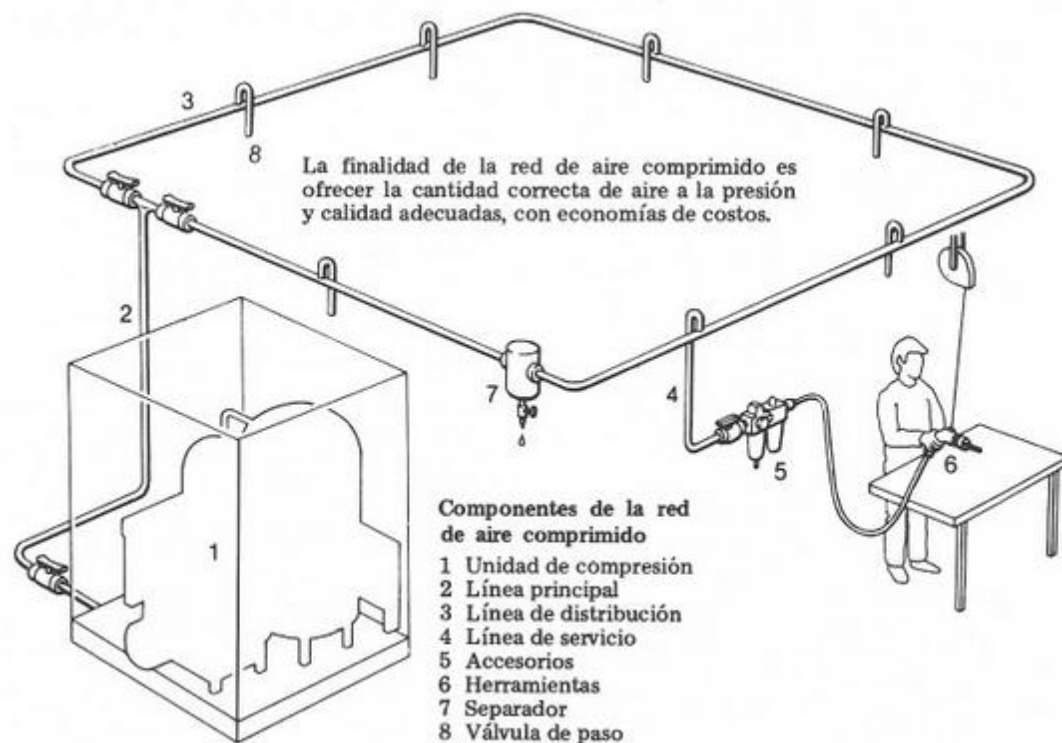
²⁴ <http://seritiumneumatica.wikispaces.com/Unidad+de+mantenimiento>.

4.15 TENDIDO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

La finalidad de un sistema de canalización de aire comprimido es distribuir aire comprimido a los puntos en los que se utiliza. El aire comprimido tiene que distribuirse con un volumen suficiente, la calidad y la presión adecuadas para propulsar correctamente los componentes que utilizan el aire comprimido.

La fabricación de aire comprimido es costosa. Un sistema de aire comprimido mal diseñado puede aumentar los gastos de energía, provocar fallos en los equipos, reducir el rendimiento de la producción y aumentar los requisitos de mantenimiento. En general suele considerarse cierto que los costes adicionales realizados en la mejora del sistema de canalización de aire comprimido resultarán rentables muchas veces durante la vida del sistema.

Figura 19. Ejemplo de una red de aire comprimido



Fuente: Disponible en internet <
<http://sovinfo.jimdo.com/neum%C3%A1tica/componentes>. Tomado mayo 15 de 2013.

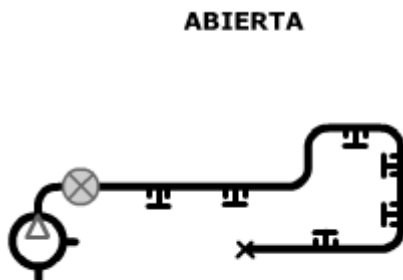
4.15.1 Tuberías o líneas de distribución: El aire es transportado desde el compresor hasta los sistemas de consumo por medio de una línea o tubería principal. El dimensionamiento de estas tuberías se hace mediante criterio termo-económicos, por lo tanto el diámetro es lo suficientemente grande para evitar grandes caídas grandes de presión y lo suficientemente pequeño para mantener bajos costos de inversión. De esta línea principal se derivan tuberías secundarias y de servicio, que están en contacto directo con los equipos neumáticos.

Estas redes pueden instalarse en configuraciones abiertas o en ciclos cerrados. La configuración en línea abierta (Ver figura 15) se utiliza cuando las tuberías no presentan longitudes muy extensas. De las ventajas principales de este tipo de configuración, se relacionan con el menor costo de instalación y la flexibilidad para futuras expansiones. Como desventaja de estas configuraciones, se tiene en el hecho de presentarse altos valores de caída presión bajos en los extremos finales.

Las líneas cerradas (Ver figura 16) se emplean cuando se espera tener tramos de tubería de longitud extensos. Su implementación, trae como ventajas la posibilidad de distribuir uniformemente el aire, con menor caída de presión que la configuración en ciclo abierto.

En la red cerrada con interconexión (ver figura 17) hay un circuito cerrado, que permite trabajar en cualquier sitio con aire, mediante las conexiones longitudinales y transversales de la tubería de aire comprimido.

Figura 20. Sistema abierto



Fuente: Disponible en internet<
<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4>. Tomado mayo 24 de 2013

Figura 21. Sistema cerrado

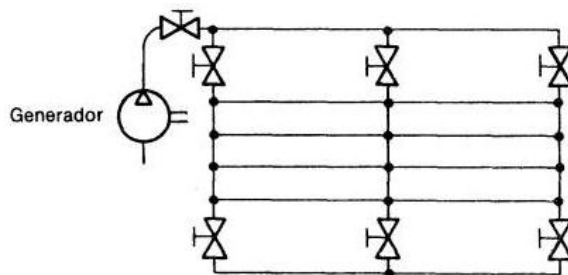
CERRADA



Fuente: Disponible en internet<

<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4>. Tomado mayo 24 de 2013

Figura 22. Sistema abierto con valvulas



Fuente: Disponible en internet<

<http://www.sapiensman.com/neumatica/neumatica4>. Tomado mayo 24 de 2013

Con el fin de asegurar la calidad del aire suministrado y evitar el deterioro de equipos y sistemas accionados, la red de distribución debe garantizar poca caída de presión entre el compresor y los puntos de consumo, valores mínimos de fugas y un alto grado de separación de condensados en todo el sistema. Esto se logra teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

- Evitar empotrar las tuberías durante la instalación.
- Instalar la tubería principal con una caída del 2%, para permitir la eliminación de condensados; realizar las derivaciones siempre hacia arriba.
- Prolongar las tuberías secundarias después de la toma de la máquina para recoger el agua condensada.

Las tuberías deben poderse desarmar fácilmente y ser resistentes a la corrosión.

Pueden emplearse materiales como cobre, acero galvanizado o plástico. Debe prestarse atención a las uniones, especialmente en las tuberías de acero, ya que son puntos claves para la aparición de oxidación.

En toda instalación de aire comprimido podemos distinguir tres tipos de conducciones que constituyen la red. A saber:

- **La tubería principal:** Es la que sale desde el compresor, y canaliza la totalidad del caudal de aire. Deben tener el mayor diámetro posible. Se deben dimensionar, de tal manera que permita una ampliación del 300 % del caudal de aire nominal. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, no debe sobrepasar los 8 m/s.
- **Las tuberías secundarias:** Toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las zonas de trabajo, de las cuales salen las tuberías de servicio. El caudal que pasa por ellas, es igual a la suma del caudal de todos los puntos de consumo. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, no debe sobrepasar los 8 m/s.
- **Las tuberías de servicio:** Son las que alimentan los equipos neumáticos. Llevan acoplamientos de cierre rápido, e incluyen las mangueras de aire y las unidades de mantenimiento, las cuales incorporan filtro de agua, regulador de presión y lubricador. La velocidad máxima del aire que pasa por ella, no debe sobrepasar los 15 m/s.

4.16 MATERIAL DE LA TUBERÍA

Para la selección del material de la tubería se cuentan con diversas posibilidades de elección:

Acero, acero inoxidable, cobre, plástico.

4.16.1 Acero: Cuando no existe ningún requerimiento especial, las tuberías de acero son las más utilizadas. Cuando se utilizan tuberías de acero o de cualquier material, estas deberán ser limpiadas antes de instalarse.

Siempre que se pueda o que sea adecuado, deberá utilizarse soldadura, lo que originará menos pérdida por fugas en conexiones, y además provoca una menor caída de presión.

4.16.2 Acero inoxidable: Son utilizadas en hospitales, producción de alimentos

y en la industria química.

4.16.3 Cobre: Es utilizado como alternativa al acero inoxidable. Utilizando cobre se facilita el trabajo de instalación comparado con el acero inoxidable.

4.16.4 Plástico: El uso de tuberías de plástico en línea de distribución de aire debe hacerse con ciertas precauciones²⁵:

- Para una presión máxima de 12,5 bares a temperaturas entre -20 ° C y 20 ° C u 8 bares hasta + 50 ° C.
- El material no debe ser sobrecalentado.
- Tubería de metal deberá utilizarse entre el compresor y el tanque.
- No debe ser sometida a vibraciones.

En especial para este proyecto se utilizará tubería de polipropileno, el cual se describirá a continuación:

- Tubería polipropileno

La tubería a utilizar en este proyecto es de polipropileno. El polipropileno es un termoplástico semi-cristalino no polar, de dureza y rigidez elevada, tiene una excelente resistencia al impacto, y a los productos químicos corrosivos. Se utilizan en distintos procesos industriales, debido a sus buenas propiedades eléctricas, químicas y mecánicas.

Por sus propiedades aislantes hacen que tiendan a cargarse electrostáticamente y acumular polvo. Resiste químicamente a soluciones acuosas de ácidos inorgánicos, ácidos orgánicos débiles, lejías, alcohol y algunos aceites.

Adicionalmente, su largo tiempo de vida útil unido al reciclaje o uso como fuente de energía, garantizan un alto nivel de sustentabilidad por cientos de años.

El polipropileno es uno de los materiales más versátiles a nivel mundial y cada vez toma más ventaja frente a los materiales convencionales debido a sus excelentes propiedades. En el sector de tubería el polipropileno presenta los siguientes beneficios:

- **Tubería sin corrosión:** El polipropileno resiste la corrosión del agua y de

²⁵ Departamento de comunicaciones de Atlas Copco, Aire comprimido y su aplicación en la industria. Atlas copco

muchas sustancias químicas, presenta menor desgaste e incrementa la vida útil.

- **Son atóxicas:** No contaminan el agua, no transmiten olor, sabor, ni color, por lo tanto son ideales para el transporte de agua potable y productos alimenticios (cumple con los requisitos para ser usado con sustancias alimenticias).
- **Material durable y resistente:** Las tuberías cuentan con alta resistencia a la fractura y la fatiga.
- **Unión libre de fugas:** Uniones mediante soldadura por fusión de los tubos, que incrementa la integridad estructural e impide fugas.
- **Tubería más liviana:** El polipropileno es el material más liviano dentro de los plásticos empleados en tubería, lo que contribuye a reducir el tiempo de trabajo y la necesidad de herramientas pesadas.
- **Facilidad en instalación y rehabilitación:** La flexibilidad permite que varios componentes se unan en uno, facilitando la manufactura e instalación.
- **Sismo resistente:** Gracias a su flexibilidad.
- **Resistencia eléctrica:** No son afectadas por corrientes eléctricas.
- **Larga vida útil:** (50 años), dependiendo de las condiciones de servicio. Garantizada por los coeficientes de seguridad considerados en el diseño de los tubos.
- **Presión de Trabajo:** Amplio campo de aplicación debido a su presión de trabajo: 500 P.S.I. en agua fría y 150 P.S.I. en agua caliente (95°C).

4.16.5 Normalización internacional²⁶

Color base azul: Aire

Franja amarilla: Aire ≤ 7 ATM. Para servicios generales

2 x franjas amarillas: Aire ≤ 7 ATM. Para instrumentación

Franja roja: Aire entre > 7 ATM. Y ≤ 10 ATM.

Franja marrón: Aire con aceite lubricante.

²⁶ Departamento de comunicaciones de Atlas Copco, Aire comprimido y su aplicación en la industria. Atlas copco

4.17 DISTRIBUCIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO

La distribución de aire desde el compresor hasta cada una de las máquinas consumidoras se hace a través de una red de tuberías.

En el diseño de una instalación el diámetro de la tubería por rentabilidad y rendimiento del sistema debe elegirse de manera que la pérdida de presión entre el depósito y el consumidor no sobrepase 10 kPa (0.1 bar), además, se debe considerar una futura ampliación de la demanda de aire²⁷.

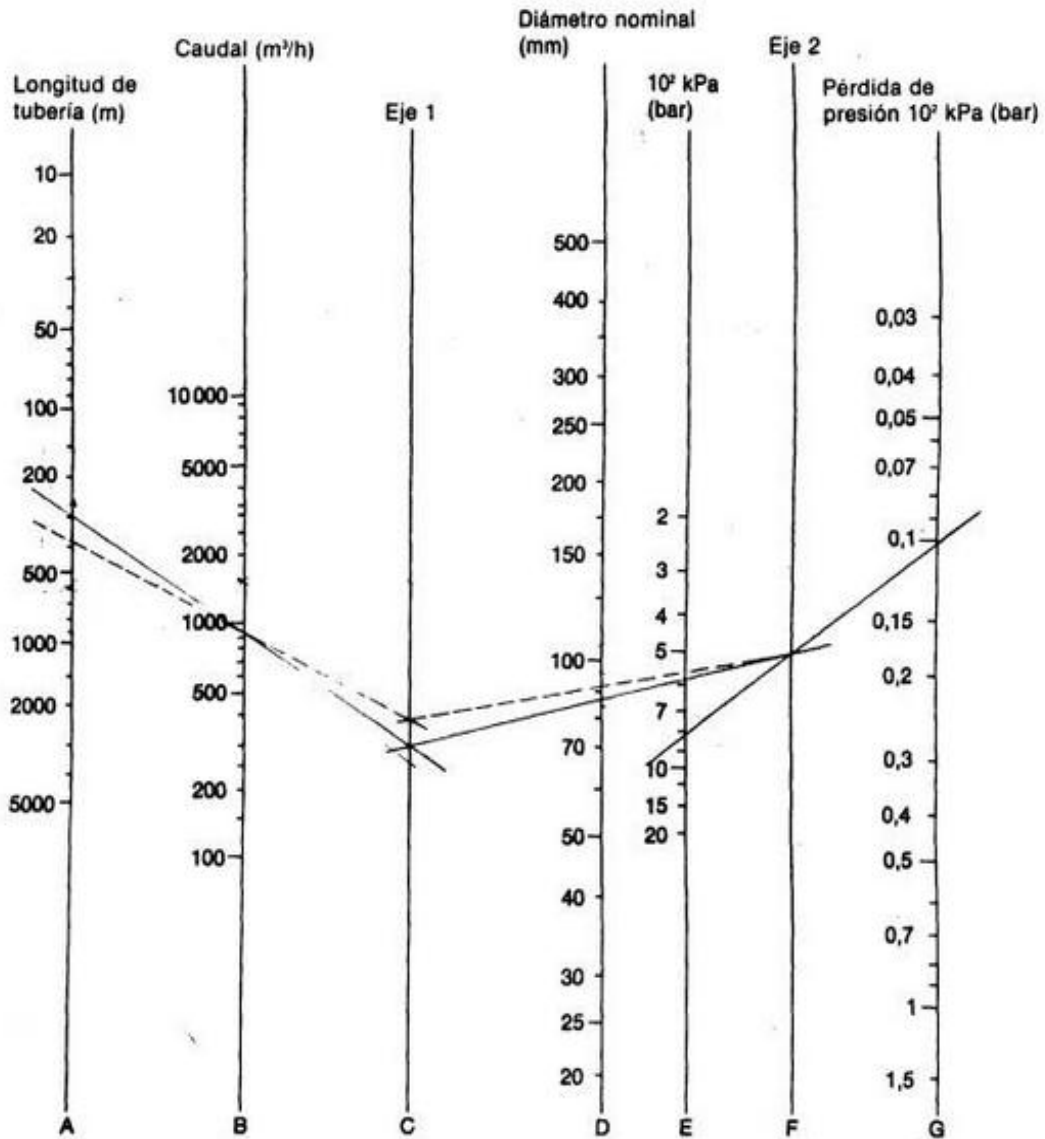
4.17.1 Dimensionamiento de las tuberías: El diámetro de las tuberías se debe elegir de acuerdo con:

- Caudal
- Longitud
- Pérdida de presión admisible (10 kPa)
- Presión de servicio
- Cantidad de estrangulamiento en la red (accesorios)

El nomograma ayuda a encontrar el diámetro provisional de la tubería de una forma rápida.

²⁷ Empresas Públicas de Medellín, seminario Hidráulica y Neumática aplicada, mayo- junio 1999, pág., 105

Figura 23. Nomograma (diámetro tubería)

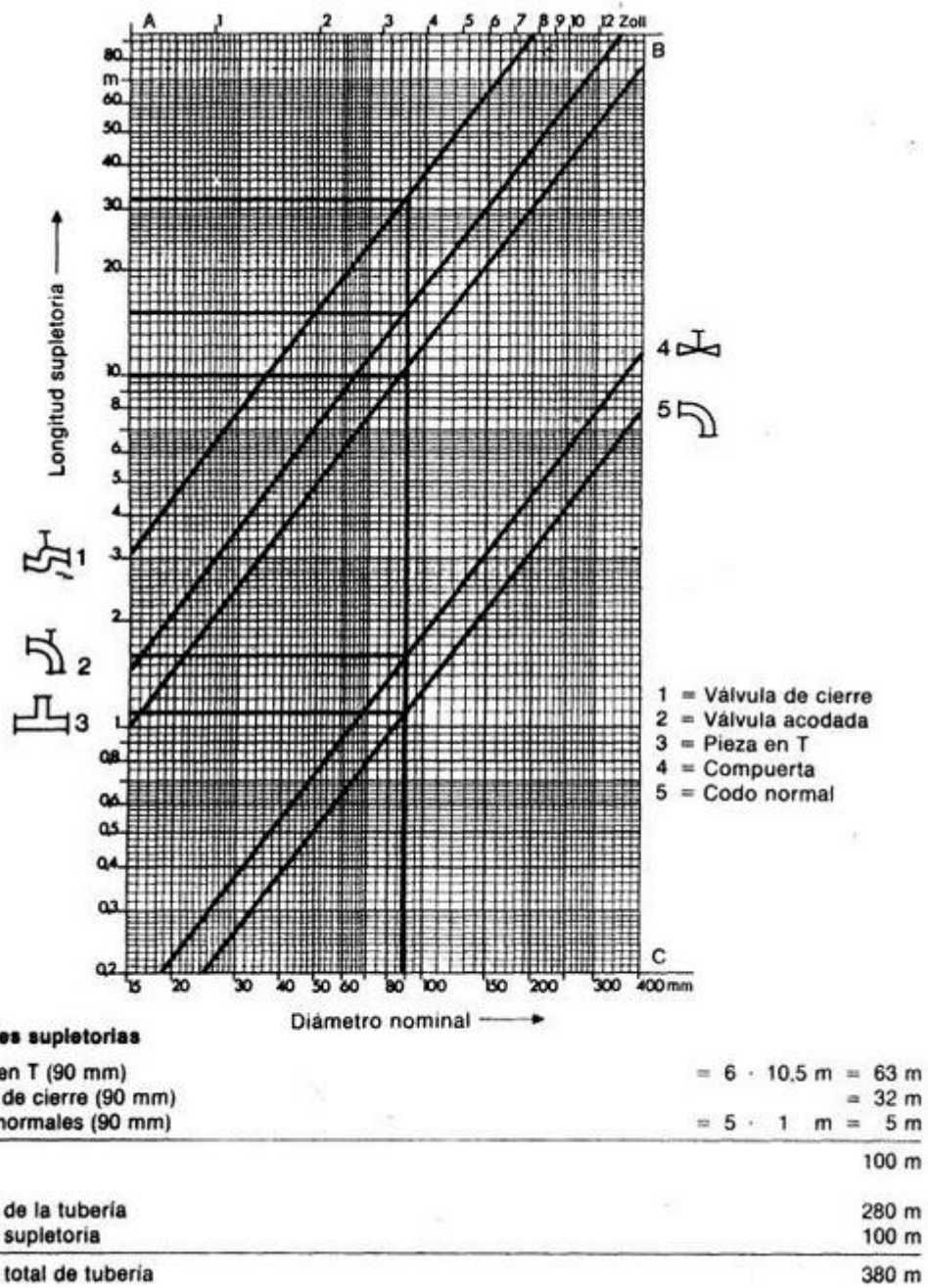


Fuente: Manual neumático de FMA Pokorny, Francfort. Tomado mayo 25 de 2013.

La resistencia de los elementos estrangulables (válvula de cierre, válvula esquinera, pieza en T, compuerta, codo normal) se indica en longitudes suplementarias.

Se entiende por longitudes suplementarias la longitud de tubería recta que ofrece la misma resistencia al flujo que el elemento estrangulador.

Figura 24. Nomograma (longitudes suplementarias)



Fuente: Manual neumático de FMA Pokorny, Francfort. Tomado mayo 25 de 2013.

4.18 COSTOS ASOCIADOS CON EL AIRE COMPRIMIDO

Estudios recientes muestran que aproximadamente el 10% de la electricidad consumida es para la generación de aire comprimido. Para algunas instalaciones, la generación de aire comprimido puede ser responsable de 30% o más de la electricidad consumida.

El aire comprimido es una de las fuentes más caras de la energía en una planta. El rendimiento total de un sistema de aire comprimido puede ser tan bajo como 10%-15%.

Para calcular el costo de aire comprimido en sus instalaciones se utiliza la siguiente fórmula:

Fórmula 5. Calculo de costos del aire comprimido²⁸

$$\text{Costos. } \$ = \frac{(bhp) \times 0.746 \times (\text{Horas de operación}) \times \frac{\$/kWh}{\text{eficiencia del motor}} \times (\% \text{Tiempo}) \times (\% \text{bhp en carga total})}{\text{eficiencia del motor}}$$

Dónde:

bhp: Caballos de fuerza del motor a plena carga.

0.746: Conversión entre hp y kW.

% de Tiempo: Porcentaje de tiempo operando a este nivel.

% a Plena Carga bhp: bhp como porcentaje de carga completa a este nivel operativo.

Eficiencia del Motor: Eficiencia del motor a este nivel operativo.

²⁸ Análisis de aire comprimido y su costo en planta, actkon, pdf.

4.19 INVERSIÓN INICIAL

La inversión inicial se refiere a la compra y adecuación de equipos y accesorio requeridos para el correcto funcionamiento del sistema. Dentro de los elementos requeridos para la inversión inicial se debe contemplar.

- Compresor
- Filtros
- Tanques
- Secadores
- Tubería de interconexión entre los equipos del sistema
- Válvulas y accesorios
- Instalación eléctrica
- Obra civil para adecuar el sitio de trabajo del sistema de aire comprimido
- Transporte de los elementos al sitio
- Pólizas de seguros
- Mano de obra para realizar trabajo de ingeniería ,electricos, neumáticos, civiles y mecánicos
- Capacitación y entrenamiento

4.20 COSTO PERMANENTE

Aunque el costo inicial se debe tener en cuenta en la iniciación del proyecto, estos costos permanentes deben considerarse durante todo el ciclo de vida del sistema, ya que estos relacionan costos de mantenimientos preventivos, repuestos u otros gastos que ayudan a largar la vida útil de los equipos.

4.20.1 Mantenimiento: El mantenimiento es una variable permanente que se debe considerar cuidadosamente, se debe de tener en cuenta para el calcularlo:

- Repuestos consumibles: Aceites, y elementos de filtros tanto internos del compresor como para filtros de línea.

- Repuestos para mantenimiento preventivo.
- Repuestos por reparación.
- Mano de obra interna o subcontratación de servicios.
- Alquiler de equipos.

Costos indirectos de mantenimiento como: mano de obra cesante, tiempo improductivo de los equipos de producción, materia prima e insumos perdidos, costos ocultos de no calidad y no cumplimiento, entre otros.

4.21 ENERGÍA ELÉCTRICA

La energía eléctrica ocupa el tema más importante dentro de la distribución de costos del aire comprimido. En la medida en que se logren reducciones en este ítem, se podría ahorrar una importante cantidad de dinero al año. La utilización del aire comprimido, está directamente relacionada con el consumo de la Energía Eléctrica que lo produce.

Es importante crear un histórico de todo el Sistema de Generación, Distribución y Utilizaciones de Aire Comprimido, con la finalidad de tener instalada una Red eficiente, y con el objetivo de importantes reducciones en los costos operativos.

El conocimiento y su registro respecto a la capacidad instalada, permitirá documentar como está siendo operado el Sistema y la capacidad real de generación para futuras ampliaciones de la demanda.

4.21.1 Energía total utilizada: Procedimiento general para determinar el costo de energía utilizada en el compresor

Fórmula 6. Cálculo de energía total utilizada

$$\text{kW carga año} = V \times A \text{ carga} \times \cos \phi \times \sqrt{3}$$

KW carga al año: consumo anual de energía por el compresor cuando se encuentra trabajando en vacío

V: voltaje

A vacío: amperaje consumido en vacío

Cos ϕ : Tomado de la placa del motor

η : Eficiencia del motor, este valor no aplica cuando el amperaje en vacío es medio.

4.22 MARCO CONCEPTUAL

El trabajo de investigación contiene vocabulario técnico el cual es pertinente aclarar para un mayor entendimiento, es así como todo este gira en torno a diseñar un sistema de aire comprimido, del cual se entiende como el conjunto de dispositivos colocados estratégicamente en el perímetro de un sitio específico para alimentar un equipo neumático para la realización de una tarea asignada.

Este sistema se encarga de alimentar los módulos de simulación del laboratorio de PLC, para suministrar a los estudiantes ensayos más reales y didácticos, que lo familiaricen con los elementos dispuestos en la industria moderna; enfocada a la automatización de los procesos.

4.23 MARCO HISTÓRICO

Para el laboratorio de PLC del bloque cinco, en la Institución Universitaria Pascual Bravo, no se registran desarrollos de soluciones a la falta de un sistema de aire comprimido para la simulación de los módulos en automatización.

Es por eso que se piensa diseñar un sistema para satisfacer la necesidad planteada por la Institución y los estudiantes, de simular procesos industriales por medio de módulos neumáticos acoplados a un control lógico programable, para la realización de los ejercicios planteados en las asignaturas.

5. METODOLOGIA

5.1. TIPO DE ESTUDIO

Este proyecto es del tipo Teórico-Práctico. La parte teórica está establecida en las actividades referentes a la investigación, selección, compra de los elementos y

dispositivos para el diseño de un sistema de aire comprimido para el laboratorio de PLC. La estructuración teórica tiene como finalidad minimizar el margen de error a la hora de la compra de los elementos que integran el sistema, así como fundamentar la parte práctica que se debe dar en una segunda parte de este proyecto.

La parte práctica consiste en la tarea de montaje y ensamble de los componentes del sistema de aire comprimido.

5.2. MÉTODO

Investigativo porque a través del análisis y selección de la información recopilada, se determinan y caracterizan el tipo de productos a adquirir e implementar el sistema de aire comprimido.

5.3. POBLACIÓN

El proyecto va dirigido a todos los estudiantes, docentes y laboratoristas del Tecnológico que intervengan o interactúen directa o indirectamente con el laboratorio de PLC.

5.3.1 Fuentes primarias

La información necesaria para el desarrollo de este proyecto se obtuvo mediante el análisis de los diferentes dispositivos utilizados por parte del personal de la empresa Aire, equipos y servicios, en la asesoría y compra de los elementos que integran el sistema de aire comprimido.

5.3.2 Fuentes secundarias

Manuales, libros, internet, donde se extrajo la información necesaria para el desarrollo de este proyecto.

5.4. PROCEDIMIENTO

Recopilación de la información, asesorías técnicas, informes de avance, reuniones de equipo, elaboración del informe final y entrega del anteproyecto y posteriormente el proyecto de grado.

6. RESULTADOS DEL PROYECTO

El proyecto es un sistema de aire comprimido para el laboratorio de PLC en el bloque cinco de la Institución Universitaria Pascual Bravo. El cual se realiza para la implementación de módulos neumáticos para simulaciones, garantizando así el desarrollo total de los contenidos temáticos de las asignaturas tales como automatización y control lógico programable.

Después de elaborar los estudios pertinentes se concluye que para la puesta en marcha o montaje del sistema debe ser en forma de anillo para darle cobertura a todo el laboratorio, se dejan 10 tomas disponibles para las conexiones de los módulos del PLC.

La red de aire comprimida de la Institución tiene una potencia entregada por un compresor de 5 HP, la cual es suficiente para el trabajo a realizar en el laboratorio de PLC, la conexión eléctrica del compresor debe ser a 220 voltios, el drenaje del compresor puede ser de manera manual por no ser de una carga excesiva de trabajo.

La tubería para el sistema se implementa de un diámetro de $\frac{1}{2}$ pulgada o 12.70 mm, en material termoplástico llamado polipropileno, el cual tiene una larga vida útil y un costo moderado. Para el desarrollo del sistema se requieren 60 m de tubería.

Figura 25. Tubería de polipropileno



Fuente disponible en internet

<www.valgroup.es/todasjpg/fam07/07000010.jpg&imgrefurl=http://www.valgroup.es>. Tomada mayo 30 de 2013.

En el desarrollo del sistema se consumen 20 codos y 30 uniones de ½ pulgada y también son construidos en polipropileno.

Figura 26. Accesorios en polipropileno



Fuente disponible en internet

[www.codos+y+uniones+polipropileno&rlz=1C2FDUM_enCO493CO493&source.>](http://www.codos+y+uniones+polipropileno&rlz=1C2FDUM_enCO493CO493&source.)

Tomada mayo 30 de 2013.

El compresor está ubicado el bloque cinco en el aula de mecánica automotriz y la tubería pasa por las aulas de máquinas y herramientas y la de metrología desde donde se va a realizar el empalme con la tubería de aluminio procedente del compresor

El empalme de la tubería se hace con un flange, niple y una válvula de ½ pulgada para evitar que el sistema se despresurice a causa de los trabajos realizados en la red neumática.

7. CONCLUSIONES

- Durante la investigación de este trabajo, se puede concluir que este sistema en la actualidad se está imponiendo en las grandes industrias por su efectividad y su económico proceso.
- El aire comprimido es un sistema eficaz debido a su manejo de grandes presiones rapidez y limpieza, esto hace que las industriales garanticen el producto y/o proceso, llevándolo a convertirse en el sistema más eficiente en procesos electromecánicos.
- Los compresores más utilizados son los de tornillos y pistones por las presiones que manejan.
- Con esto se puede concluir que los objetivos específicos fueron cumplidos con a cabalidad.
- La neumática hace parte de lo que hoy en día se conoce como automatización de los procesos

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda para el montaje del sistema de aire comprimido, cambiar el compresor por uno de mayor potencia, ya sea de 10 HP o de 15 HP, esto porque el compresor de 5 HP si se ponen en funcionamiento varios laboratorios al tiempo puede colapsar y no entregar la potencia esperada por cada sala.

Se sugiere que al momento de hacer el cambio del compresor se garantice que el drenado de este sea automático, es decir que no requiera la intervención constante del personal para este proceso.

Si el compresor no se cambia también se puede realizar un montaje para variar el drenaje manual por un drenaje automático, el cual es posible se monta una válvula solenoide y un temporizador, aplicando así conceptos de automatización al proceso.

Se sugiere para el empalme de la tubería de aluminio con la de polipropileno, cortar el suministro de aire comprimido de 40 a 60 minutos para realizar la conexión.

9. BIBLIOGRAFÍA

GARCIA LOPEZ, Antonio. Proyecto Básico de Ejecución de la Edificación y Nuevas Instalaciones. Sevilla. Universidad de Sevilla.

MAYMO, Mariano. Manual de mecánica industrial II. Neumática e Hidráulica, edición MWV, Madrid, España, CULTURAL, S.A. 448 p. ISBN: 84-8055-283-2.

VALDEZ, Nicolás. Manual sobre aire comprimido y su aplicación en la industria, Atlas Copco, Departamento de comunicaciones de Atlas Copco Venezuela S.A. 191 p.

KAESER, Manual de aire comprimido. Fundamentos tips y sugerencias en la tecnología de aire comprimido. Kaser Compresores de Colombia Ltda. Bogotá, Colombia, Octubre 2003. 30 p.

10.CIBERGRAFÍA

BOMBAS INDUSTRIALES Y VACÍO, (en línea). www.tecbovac.com. (citado en mayo 24 de 2013).

TÉCNICA DE AIRE COMPRIMIDO FUNDAMENTOS, CONSEJOS Y SUGERENCIAS, (en línea). www.kaeser.com. (Citado en abril 16 de 2013).

ICONTEC. Normas técnicas para trabajos escritos (en línea). [http//www.icontec.com](http://www.icontec.com) (citado en febrero 22 de 2013).

ANEXOS

Anexo 1. Plano de montaje del sistema