



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica

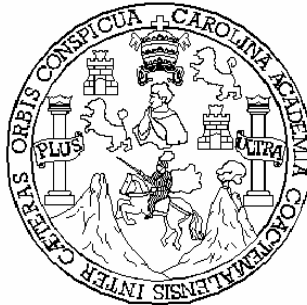
**PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO, PARA LOS
LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA,
EN EL EDIFICIO T-7**

Laureano Torres García

Asesorado por Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma

Guatemala, abril 28 de 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO, PARA LOS
LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA,
EN EL EDIFICIO T-7**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LAUREANO TORRES GARCÍA

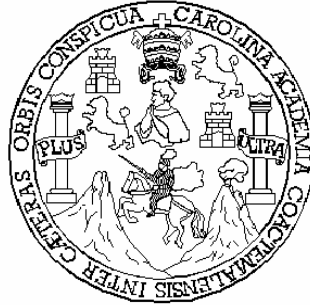
ASESORADO POR EL ING. CARLOS ANÍBAL CHICOJAY COLOMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO

GUATEMALA, MAYO DE 2006

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

| | |
|------------|----------------------------------|
| DECANO | Ing. Murphy Olympos Paiz Recinos |
| VOCAL I | |
| VOCAL II | Ing. Amahán Sánchez Álvarez |
| VOCAL III | Ing. Julio David Galicia Celada |
| VOCAL IV | Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz |
| VOCAL V | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva |
| SECRETARIA | Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas |

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

| | |
|------------|--|
| DECANO | Ing. Herbert René Miranda Barrios |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| EXAMINADOR | Ing. Melvín Amán Monroy Gonzalez |
| EXAMINADOR | Ing. Alvaro Antonio Ávila Pinzón |
| SECRETARIA | Inga. Gilda Marína Castellanos Baiza de Illescas |

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO, PARA LOS
LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA,
EN EL EDIFICIO T-7,**

tema que me fue asignado por la Escuela de Ingeniería Mecánica, el 23 de junio de 2005.



Laureano Torres García

ACTO QUE DEDICO A:

- DIOS** Porque a través de Él todo se puede.
- MIS PADRES** José Benjamín Torres Muñoz
Olga Yolanda García Santiago de Torres
Como un reconocimiento a sus múltiples esfuerzos.
- MI ESPOSA** Mayra Karlina Arriola Molina de Torres
Gracias por apoyarme en todo momento.
- MIS HIJOS** Laureano José
Yolanda Paola
Como una guía a seguir por el infinito camino del saber.
- MIS HERMANOS** Sergio Haroldo Torres García
Juan Carlos Torres García
Porque siempre hemos luchado.
- MIS SOBRINOS** Sergio André y Juan Carlos
Con cariño.
- MIS TÍOS** Byron José García Santiago
José Luis García Santiago
Con Respeto y Cariño.
- MIS PRIMAS** Carmen Lucía, Rocío Esmeralda,
María Humbelina
Con Cariño.

AGRADECIMIENTO A:

Dios: Por iluminarme y permitirme alcanzar esta meta

Mis Padres: Por su apoyo incondicional en todo momento.
Padres: Gracias por educarme

Mis Hermanos: Por brindarme su apoyo

Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma:

Por su asesoría y colaboración al presente trabajo de graduación, gracias por su motivación y aprecio.

A todas aquellas personas que en una u otra forma me brindaron su ayuda.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



Guatemala 28 de marzo de 2006

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Fredy Mauricio Monroy Peralta
Director Escuela Ingeniería Mecánica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad Universitaria, Zona 12

Estimado Señor Director:

Atentamente me permito comunicarle que he tenido a la vista el trabajo de graduación del estudiante Laureano Torres García, Carné 91 12482, titulado: **PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN EL EDIFICIO T-7**, y después de realizar las revisiones correspondientes, lo encuentro satisfactorio, procediendo por este medio a su aprobación.

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

El Coordinador del Área Materiales y Complementaria de la Escuela de Ingeniería Mecánica, luego de conocer el dictamen del Asesor y habiendo revisado en su totalidad el trabajo de graduación titulado, PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO PARA LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA EN EL EDIFICIO T-7, del estudiante **Laureano Torres García**, recomienda su aprobación.

ID Y ENSEÑAR A TODOS


Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
Coordinador de Área

Guatemala, abril de 2006

behdí

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

"Todo por ti, Carología mía"
Dr. Carlos Martínez Durán
2006. Centenario de su Nacimiento

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, después de conocer el dictamen del asesor, con el visto bueno del Coordinador del Área Complementaria al trabajo de graduación **PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO, PARA LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, EN EL EDIFICIO T-7**, del estudiante Laureano Torres García, procede a la autorización del mismo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Fredy Mauricio Monroy Peralta
DIRECTOR



Guatemala, abril de 2006

/behdi.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

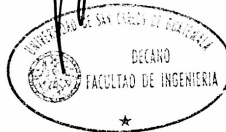
Ref. DTG. 127-2006.

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica, al trabajo de graduación titulado: **PROPUESTA DE UNA RED DE AIRE COMPRIMIDO, PARA LOS LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, EN EL EDIFICIO T-7**, presentado por el estudiante universitario **Laureano Torres García**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy D'Amico Paiz Recinos
DECANO

Guatemala, abril 28 de 2,006



/gdech

Hacia por el Centenario Año
Dr. Carlos Martínez Durán
2006: Centenario de su Nacimiento

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|----------|
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES | V |
| LISTA DE SÍMBOLOS | VII |
| GLOSARIO | VIII |
| RESUMEN | XIII |
| OBJETIVOS | XIV |
| INTRODUCCIÓN | XV |
| | |
| 1. NEUMÁTICA | 1 |
| 1.1. Evolución histórica del aire comprimido | 1 |
| 1.2. Introducción a la neumática | 1 |
| 1.2.1. Ventajas del aire comprimido | 2 |
| 1.2.2. Inconvenientes del aire comprimido | 3 |
| 1.3. Fundamentos físicos del aire | 4 |
| 1.3.1. Aire | 4 |
| 1.3.2. Peso específico | 4 |
| 1.3.3. Volumen específico | 4 |
| 1.3.4. Temperatura absoluta | 4 |
| 1.3.5. Presión | 5 |
| 1.3.6. Presión atmosférica | 5 |
| 1.3.7. Presión absoluta y relativa | 5 |
| 1.3.8. Caudal | 5 |
| 1.3.9. Calor | 6 |
| 1.3.10. Temperatura | 6 |
| 1.3.11. Altitud | 6 |

| | |
|--|-----------|
| 1.4. Características fundamentales de los gases | 7 |
| 1.5. Ley de Boyle-Mariotte | 7 |
| 1.7. Unidades de medida | 8 |
| 1.7.1. Unidades de presión | 8 |
| 1.7.2. Unidades de caudal | 8 |
| 1.7.3. Escalas termométricas | 9 |
| 1.7.3.1. Escala Centígrada | 9 |
| 1.7.3.2. Escala Fahrenheit | 9 |
| 1.7.3.3. Escala Kelvin | 10 |
| 2. CÁLCULO DE CARGAS DE AIRE EN LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA | 11 |
| 2.1 Consideraciones previas | 11 |
| 2.1.2. Consumo específico | 11 |
| 2.1.3. Coeficiente de utilización | 11 |
| 2.1.3. Coeficiente de simultaneidad | 12 |
| 2.1.4. Capacidad de los compresores | 13 |
| 2.1.5. Número de compresores | 14 |
| 2.2. Cálculo de cargas laboratorio de motores de combustión interna | 15 |
| 2.3 Cálculo de cargas laboratorio de refrigeración y aire acondicionado. | 15 |
| 2.4 Cálculo de cargas laboratorio de metalurgia y metalografía | 16 |
| 2.5 Cálculo de cargas laboratorio de procesos de manufactura I | 16 |
| 2.6 Cálculo de cargas laboratorio de procesos de manufactura II | 17 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.7 | Cálculo de cargas laboratorio de instalaciones mecánicas | 18 |
| 2.8 | Cálculo de cargas de laboratorio de instrumentación mecánica | 18 |
| 2.9 | Cálculo de cargas salón de clase 101 | 19 |
| 2.10 | Cálculo de cargas salón de clase 102 | 19 |
| 2.11 | Cálculo de cargas salón de clase 103 | 20 |
| 3. | SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE COMPRIMIDO | 25 |
| 3.1 | Pérdida de presión = pérdida de potencia | 25 |
| 3.2 | Pérdidas de aire admisibles por fugas | 30 |
| 3.3 | Parámetros | 34 |
| 3.4 | Tuberías | 34 |
| | 3.4.1. Tubería principal | 35 |
| | 3.4.2. Tuberías secundarias | 36 |
| | 3.4.3. Tuberías de servicio | 36 |
| 3.5 | Cálculo de tuberías | 37 |
| 3.6. | Determinación del diámetro más económico de la tubería | 37 |
| 3.7 | Configuración de una red de aire comprimido | 40 |
| 4. | MANTENIMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO | 45 |
| 4.1. | Revisión de la red de aire comprimido | 45 |
| 4.2. | Examen económico de la pérdida de presión | 49 |
| 4.3. | Estudio económico por la pérdida de aire por fugas | 52 |
| 4.4 | Operación y mantenimiento de accesorios | 56 |
| | 4.4.1 Posenfriadores | 57 |
| | 4.4.2 Posenfriadores Aire-Aire | 58 |
| | 4.4.3. Posenfriadores Aire-Agua | 58 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.4. Separador centrífugo | 59 |
| 4.4.5. Válvulas de drenaje automático | 60 |
| 4.4.6. Válvulas de drenaje automático mecánico | 60 |
| 4.4.7. Válvulas de drenaje automático de flotador | 61 |
| 4.4.8. Válvulas de drenaje automático electrónica | 61 |
| 4.4.9. Filtros | 61 |
| 4.4.10. Filtros de partículas | 62 |
| 4.4.11. Filtros coalescentes | 63 |
| 4.4.12. Filtros de vapores | 63 |
| 4.4.13. Secadores | 63 |
| 4.4.14. Refrigerados | 64 |
| 4.4.15. Regenerativos | 66 |
| 4.5 Tanques de almacenamiento | 66 |
| 4.6 Unidades de mantenimiento | 68 |
| 4.7 Preparación y tratamiento del aire | 69 |
| 4.8 Impurezas | 69 |
| 4.9 Tratamiento de la humedad | 70 |
| 4.10 Secado por absorción | 72 |
| 4.11 Secado por adsorción | 72 |
| 4.12 Secado por enfriamiento | 73 |
| 4.13 Mantenimiento de tuberías | 77 |
| 4.14 Mantenimiento de válvulas y accesorios | 78 |
| 4.15 Medidas de seguridad | 79 |
| 4.16 Cuidado de su red de aire comprimido | 80 |
| CONCLUSIONES | 81 |
| RECOMENDACIONES | 83 |
| BIBLIOGRAFÍA | 85 |
| ANEXOS | 86 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Ilustración de los componentes de una red de aire comprimido | 26 |
| 2 | Caída de presión aceptable en una instalación de aire comprimido. | 27 |
| 3 | Curva de rendimiento en función de la presión | 29 |
| 4 | Las líneas tanto secundarias como de distribución | 36 |
| 5 | Posibles configuraciones de las redes de aire | 40 |
| 6 | Configuración abierta y su inclinación | 41 |
| 7 | Dirección del flujo en una red cerrada para una demanda | 42 |
| 8 | Configuración cerrada y su ausencia de inclinación | 43 |
| 9 | Ejemplo de una red y sus accesorios | 57 |
| 10 | Posenfriadores Aire-Aire | 58 |
| 11 | Posenfriador Aire-Agua | 58 |
| 12 | Válvulas de drenaje automático | 59 |
| 13 | Filtros | 62 |
| 14 | Secadores refrigerados | 64 |
| 15 | Unidad de mantenimiento | 68 |
| 16 | Características del punto de rocío | 71 |

TABLAS

| | | |
|-----|---|----|
| I | Necesidades de aire comprimido en cada laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica | 20 |
| II | Cálculos utilizando el coeficiente de utilización de las máquinas | 22 |
| III | Pérdida de presión de algunos dispositivos | 26 |
| IV | Clasificación de calidades de aire comprimido | 31 |
| V | Energía necesaria para compensar fugas | 52 |
| VI | Mantenimiento de compresores | 76 |
| VII | Pérdidas por fuga | 78 |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|------|----------------------------|
| cm | Centímetro |
| °C | Grado centígrado (Celsius) |
| °F | Grado Fahrenheit |
| Hg | Mercurio |
| Kg | Kilogramo |
| m | Metro |
| min. | Minuto |
| P | Presión |
| Psi. | Libra por pulgada cuadrada |
| Seg. | Segundo |
| T | Temperatura |
| Ton. | Tonelada |
| mm. | Milímetro |
| L | Litro |
| N | Newton |
| h | Hora |
| plg | Pulgada |

GLOSARIO

| | |
|-------------|---|
| Aire | Es un gas insípido, incoloro e inodoro que está compuesto de gases: nitrógeno 78.3% y oxígeno 20.99%; además contiene en pequeñas cantidades bióxido de carbono 0.003%, argón 0.94% hidrógeno 0.01% neón, helio, kriptón y xenón. |
| Aire Húmedo | Se dice que es un aire húmedo cuando su composición presenta un porcentaje apreciable de vapor de agua. Generalmente el aire atmosférico es un aire húmedo. |
| Aire Seco | Recibe el nombre de aire seco, aquel aire, cuyo contenido de vapor de agua es cero o despreciable. Para cuestiones de cálculo, se puede considerar al aire seco compuesto por 79% de nitrógeno y 21% de oxígeno. |
| Aire Libre | Es el aire en condiciones atmosféricas en cualquier lugar específico. En virtud de que la |

altitud, la presión barométrica y la altura pueden variar en diferentes lugares y horas.

| | |
|---------------------------|--|
| Adsorción | Adhesión o concentración de sustancias disueltas en la superficie de un líquido o alrededor de los cuerpos pulverulentos. |
| Barómetro | Es un instrumento para medir la presión atmosférica. Un barómetro está constituido por un tubo transparente de longitud superior a 762 mm., hundido verticalmente por un extremo en un recipiente abierto, que contiene mercurio. |
| Temperatura de bulbo seco | Es la temperatura reinante en la atmósfera y es una mezcla de aire y vapor de agua; ésta se mide con un termómetro ordinario. |
| Caudal | Es el volumen de agua o aire de una corriente que fluye en una dirección dada, en la que se tiene en cuenta la velocidad, pérdidas por fricción del medio en la que es conducida, y su volumen está referido en tiempo y gasto, según dimensional. Ésta se puede expresar en metros cúbicos por minutos, galones por segundo, litros por hora. |
| Densidad | Es la relación entre la masa de un cuerpo, y su volumen está expresado en Kg./cm^3 . |

| | |
|--------------------------|---|
| Flujo Uniforme | Éste tiene lugar cuando el módulo, la dirección y el sentido de la velocidad no varían de un punto a otro del fluido. |
| Fluido | Son sustancias capaces de fluir y que se adaptan a la forma de los recipientes que las contienen, todos los fluidos son incompresibles en cierto grado y ofrecen poca resistencia a los cambios de forma, los fluidos se pueden dividir en líquidos y gases, la diferencia es que los líquidos son prácticamente incompresibles y los gases son compresibles. |
| Humedad relativa | Cociente obtenido al dividir la presión parcial del vapor de agua existente en el aire, con la presión parcial que tendría, si el aire estuviese saturado en las mismas condiciones. |
| Mantenimiento preventivo | Es un trabajo programado de reparación en máquinas o líneas de conducción de aire comprimido, para evitar paros repentinos por desperfectos no contemplados. Los fabricantes de compresores recomiendan darle mantenimientos preventivos a las unidades a cada cierto número de horas de trabajo, se deben seguir éstas disposiciones, para evitar |

costos de mantenimientos elevados y largos períodos de paro.

| | |
|---------------------|---|
| Peso específico | El peso específico W de una sustancia es el peso de la unidad de volumen de dicha sustancia. Los pesos específicos pueden calcularse mediante la ecuación de estado de los gases o $PV = RT$ (ley de Charles Boyle). |
| Presión | Son los efectos de una fuerza que actúa distribuida sobre una superficie. La fuerza puede ejercerla un sólido, un líquido o un gas. $P = \text{masa}/\text{área}$. |
| Presión atmosférica | La que ejerce la atmósfera sobre la superficie terrestre recibe el nombre de presión atmosférica; esta presión no es constante para todos los puntos de la superficie terrestre, ya que está afectada por la altura. Se determina como presión atmosférica normal, la presión existente al nivel del mar, cuyo valor es de 14.7 lb/plg^2 , 1.033 kg/cm^2 ó 1 atmósfera. |
| Presión manométrica | Es la presión que se registra dentro un sistema, y nos da la presión que está por encima o por debajo de la atmosférica. |
| Presión absoluta | Es la suma de las presiones atmosférica y manométrica. |

| | |
|--------------------|--|
| Temperatura | Considerada como unidad de medida de energía de traslación de las partículas, o una medida de la actividad molecular (y de la energía interna de los gases) |
| Volumen | Dimensión de un cuerpo o espacio ocupado por un cuerpo, está dado en mm^3 , cm^3 , y m^3 . |
| Volumen específico | Es la relación entre el volumen de un cuerpo y su masa $V_s = v/m$. |
| Consumo específico | Se llama consumo específico de una herramienta o equipo, al consumo de aire requerido para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante. Se expresa en aire libre (l / min. Litros por minuto N m^3 . /min. Metros cúbicos normales por minuto, CFM pies cúbicos por minuto.) |

RESUMEN

La información aquí recopilada trata sobre un anteproyecto de aire comprimido para los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, en el edificio T-7; los aspectos básicos que hay que considerar para llevar a cabo la selección de los materiales y el equipo a utilizar, el comportamiento del circuito y sus limitaciones.

Se da a conocer información sobre las necesidades que tiene cada laboratorio de la escuela, en dónde se pueden utilizar, los componentes básicos que conforman dicho circuito, y el funcionamiento.

Asimismo se explica cómo se seleccionó el equipo, su aplicación en la industria, sus principales componentes y la función de éstos en determinado lugar.

Seguidamente, se informa sobre los equipos que se utilizarán en los diferentes laboratorios, los factores a considerar para la selección del equipo.

Por último, se presenta una guía para hacer mantenimiento preventivo de las unidades, así como las cotizaciones que se solicitaron a varios proveedores de dicho equipo, y quedará a disposición de las autoridades de la Escuela de Ingeniería Mecánica, la implementación de dicho proyecto.

OBJETIVOS

General

Proponer el diseño de una red de aire comprimido para los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, en el Edificio T-7.

Específicos

1. Conocer los criterios para escoger un equipo de aire comprimido para el edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos.
2. Enumerar los distintos factores que intervienen en la selección de determinado equipo.

INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es una fuente de energía que al aprovechar las ventajas que proporciona a la hora de trabajar con elementos neumáticos, nos permite realizar de una forma más rápida y eficiente las tareas que se puedan emprender en cualquier industria.

Para realizar con éxito la red de aire comprimido, el ingeniero debe considerar, en primer lugar, una definición correcta del problema que se plantea y ser capaz de predecir el comportamiento del sistema que está estudiando. Dadas las condiciones y la carga de aire, dicho sistema debe integrarse dentro del edificio al cual sirve, satisfacer la carga instantánea máxima de aire, y ser capaz de funcionar en condiciones de carga parcial.

La gama de aplicaciones destinadas al aire comprimido abarca desde un neumático que necesita ser inflado, hasta una fábrica que tenga que producir la mayoría de sus productos con aire comprimido.

1. NEUMÁTICA

1.1. Evolución histórica del aire comprimido

El ser humano, sin saberlo lleva representado en sus pulmones el compresor más antiguo de la historia y el más natural, pudiendo tratar 100 litros de aire por minuto o seis metros cúbicos por hora, ejercen una presión de 0.02 – 0.08 bar. En estado de salud normal, este compresor humano posee una seguridad inigualable, y los costos de funcionamiento son nulos.

La impulsión del aire para conseguir un fin útil figura inmersa desde épocas prehistóricas en las vivencias del hombre. Ejemplos: los cazadores utilizando la cerbatana para lanzar una flecha, la acción de soplar para encender y activar el fuego, etc.

Como primer compresor mecánico se puede citar el fuelle manual, que no fue inventado hasta el tercer milenio antes de Cristo, y el fuelle de pie, que no comenzó a emplearse hasta unos mil quinientos años antes de nuestra era. Las primeras máquinas soplantes sirvieron para suministrar aire de combustión a los hornos de fundición y en la ventilación de explotaciones mineras.

El conocimiento y las realizaciones empleando aire comprimido tomaron consistencia científica a partir de la segunda mitad del siglo XVII, cuando el estudio de los gases es el objeto de científicos como Torricelli, Pascal, Boyle, Mariotte, Gay Lussac, etc.

1.2. Introducción a la neumática

El aire comprimido, como energía para su utilización y refuerzos de recursos físicos es una de las más antiguas que se conocen. La aplicación de la *neumática* es como consecuencia de una necesidad cada vez más acuciante de la automatización y racionalización del trabajo. Se puede definir la neumática como la técnica de aplicación y utilización racional del **aire comprimido**.

Las características que han contribuido a la gran aplicación del aire comprimido se exponen a continuación con sus ventajas é inconvenientes.

1.2.1. Ventajas del aire comprimido

A continuación se enumera una lista de ventajas que presenta el aire comprimido

Abundante: Es ilimitado y se encuentra disponible gratuitamente en cualquier lugar. No precisa conductos de retorno. El aire utilizado pasa de nuevo a la atmósfera.

Almacenaje: Almacenado y comprimido en acumuladores o depósitos, puede ser transportado y utilizado donde y cuando se precise.

Antideflagrante: Está a prueba de explosiones. No hay riesgo de chispas en atmósferas explosivas. Puede utilizarse en lugares húmedos sin riesgo de electricidad estática.

Temperatura: Es fiable, incluso a temperaturas extremas.

Limpieza: Cuando se producen escapes no es perjudicial y pueden colocarse en las líneas, depuradoras o extractores para mantener el aire limpio.

Elementos: El diseño y constitución de elementos es fácil y de simple confección.

Velocidad: Se obtienen velocidades muy elevadas en aplicaciones de herramientas de montaje.

Regulación: Las velocidades y las fuerzas pueden regularse de manera continua y escalonada combinando con sistemas oleoneumáticos.

Sobrecargas: Se pueden llegar en los elementos neumáticos de trabajo hasta su total parada, sin riesgo alguno de sobrecargas y tendencia al calentamiento.

1.2.2. Inconvenientes del aire comprimido

Preparación: Es preciso eliminar impurezas y humedades previas a su utilización.

Velocidad: Debido a su gran compresibilidad, no se obtienen velocidades uniformes en elementos de trabajo.

Ruidos: El aire que escapa a la atmósfera produce a veces ruidos bastante molestos. Se superan mediante dispositivos silenciadores.

Esfuerzos: Son limitados (2.000 a 3.000 kilogramos con presión de trabajo de 7 Kg./ cm²).

Costo: Es una fuente de energía cara, pero compensada con el buen rendimiento y facilidad de implantación.

1.3. Fundamentos físicos del aire

Se precisan conocer algunas de las características físicas del aire comprimido antes de proceder al cálculo y razonamiento de algunos conceptos fundamentales, básicos para su empleo como fuente de ***energía neumática***.

1.3.1. Aire

Se define aire como la mezcla de gases que envuelven la esfera terrestre formando la atmósfera.

Composición volumétrica

- 78% de nitrógeno
- 20% de oxígeno
- 1.3% de argón
- 0.05% de helio, hidrógeno, dióxido de carbono, etc. y cantidades variables de agua y polvo.

1.3.2. Peso específico

Es el peso por unidad de volumen. Para el aire = 1.293 kg/m³ a 0 °C y una atmósfera de presión.

1.3.3. Volumen Específico

Es el volumen de la unidad de peso. Para el aire = 0.773 m³/kg a 0 °C y una atmósfera de presión.

1.3.4. Temperatura Absoluta

Esta temperatura se define teniendo como base el cero absoluto.

$$\text{Cero absoluto} = -459.67 \text{ } ^\circ\text{F} \text{ ó } -273.15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Cero absoluto es aquella temperatura que se presentaría en el caso de que todo el calor se remueva del material o la temperatura a la cual teóricamente el volumen del gas sería cero.

1.3.5. Presión

Es la fuerza aplicada por unidad de superficie, es el cociente entre la fuerza y la superficie que recibe su acción, es decir

$$P = F/S \quad \text{En donde } F = \text{Fuerza, } S = \text{Superficie}$$

1.3.6. Presión Atmosférica

Presión atmosférica normal (o altura barométrica normal) es la presión de una columna de mercurio de 760 mm. de altura a nivel del mar. El valor de la atmósfera es de 1.033 Kg./cm²

1.3.7. Presión absoluta y relativa

El resultado de dividir toda la fuerza ejercida sobre los elementos de una superficie, entre dicha superficie, da como resultado la presión. Esta presión se denomina *presión absoluta* y la emiten los barómetros. Todos los cuerpos están sometidos a una presión atmosférica. La diferencia entre *presión absoluta* y *la atmosférica* es la que generalmente se emplea en los diversos cálculos; la miden los *manómetros* y la denominamos *presión relativa*.

1.3.8. Caudal

Se puede definir como la cantidad de fluido que pasa por una determinada sección de un conducto por unidad de tiempo.

$$\text{Caudal} = \text{Volumen} / \text{Tiempo}$$

Existen dos formas de expresar el caudal:

- Caudal másico. Cantidad de masa de un fluido que pasa por una sección en unidad de tiempo.
- Caudal volumétrico. Cantidad de fluido que pasa por una sección en la unidad de tiempo.

En ambos casos está relacionado con la densidad del fluido, que en los gases es variable con la presión y la temperatura.

Cuando se habla de caudal de aire libre, es decir caudal volumétrico referido a la atmósfera normal de referencia (ANR) nos estamos refiriendo a un caudal másico, puesto que en estas condiciones normales la densidad es constante.

1.3.9. Calor

Es la manifestación de la energía que provoca variaciones en algunas propiedades físicas de los cuerpos. El calor pasa de un cuerpo caliente a otro frío hasta que ambos adquieren la misma temperatura.

1.3.10. Temperatura

Calor es lo que produce el aumento de la temperatura.

1.3.11 Altitud

La altitud es importante cuando hablamos de compresores puesto que el aire llega a ser menos denso a mayor altura sobre el nivel del mar y la presión absoluta es por lo tanto menor. Puesto que el aire es menos denso a mayor altitud, el efecto de enfriamiento sobre los motores es menor, imponiendo un límite a la altura a la cual un motor puede ser operado sobre el nivel del mar.

1.4 Características fundamentales de los gases

- El aire no tiene forma determinada y tiende a repartirse uniformemente dentro del recipiente que lo contiene.
- La presión de un gas encerrado en un recipiente se encuentra en equilibrio en todos los puntos de su masa y mantiene la misma presión en cualquier punto del recipiente.
- La densidad de un gas depende de su presión y temperatura.
- La masa de un gas opone muy poca resistencia a los esfuerzos de corte
- El aire permite ser comprimido (compresión) y tiene tendencia a la dilatación (expansión).

1.5. Ley de Boyle-Mariotte

A temperatura constante, la presión de un gas es inversamente proporcional a su volumen, es decir, el producto de la presión absoluta por el volumen es una constante para una terminada masa de gas.

1.6. Ley de Gay-Lussac

El volumen de una determinada cantidad de gas varía proporcionalmente a la temperatura. A presión constante, el volumen ocupado por un gas es proporcional a su temperatura absoluta. A volumen constante, la presión de un gas es proporcional a su temperatura absoluta.

1.7. Unidades de medida

1.7.1. Unidades de presión

La unidad de presión según el SI (Sistema Internacional), es el N/m^2 (Newton por metro cuadrado), que normalmente recibe el nombre de Pascal. Esta unidad presenta el inconveniente de resultar demasiado pequeña para la mayor parte de las aplicaciones.

Tradicionalmente se venía empleando como unidad de presión la atmosférica física o bien el Kg. / cm. Pero actualmente según el SI, la unidad más empleada en la práctica es el bar.

$$1 \text{ bar} = 10 \times \text{Pa} = 1 \times \text{dN/cm}^2 \text{ (decaNewton por centímetro cuadrado)}$$

El valor del bar es muy próximo al de las unidades tradicionales, es decir, a la atmósfera y el kilogramo.

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ Kg. / cm}^2 = 1,013 \text{ bar}$$

1.7.2. Unidades de caudal

El caudal másico se expresa en Kg/s (kilogramos por segundo) y el volumétrico en $\text{m}^3/\text{min.}$ (metros cúbicos por minuto) seguido de la referencia normal. No obstante es más corriente expresar el caudal volumétrico en l / min. (litros por minuto) o en m^3 / h (metros cúbicos por hora).

1.7.3. Escalas termométricas

Los instrumentos para medir la temperatura (termómetros) están basados en el hecho de que casi todos los cuerpos sufren alteraciones en sus propiedades físicas al variar la temperatura. Para medir la temperatura existen varios tipos de escalas termométricas. Las más usadas son:

- Escala Celsius.
- Escala Fahrenheit.
- Escala Kelvin o absoluta.

Estas escalas están basadas en una serie de divisiones (grados) que miden escalonadamente las fases por donde pasa el agua y que van desde la temperatura inferior, que consideramos cuando el hielo funde, a la temperatura superior que es cuando el agua hierve. Ambas temperaturas a presión atmosférica.

1.7.3.1. Escala Celsius

Dividida en cien partes, el cero corresponde a la temperatura de fusión del hielo y el 100 a la ebullición del agua. Se representa por el número de grados seguidos de la letra C.

Ejemplo 26 °C, cuando las temperaturas son inferiores a 0°C se indican con un signo negativo (-26 °C) o bien 26 °C bajo cero.

1.7.3.2. Escala Fahrenheit

La temperatura de fusión del hielo corresponde a 32° y la de ebullición a 212°. Se representa por un número de grados seguido de la letra F. Ejemplo 46 °F.

1.7.3.3. Escala Kelvin

Se obtiene sumando 273 a la temperatura centígrada, se representa por el número de grados seguido de la letra K. Ejemplo 290 K

2. CÁLCULO DE CARGAS DE AIRE EN LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

2.1 Consideraciones previas

Se empezó por indagar las necesidades de aire comprimido que tendrá cada laboratorio que conforma la carrera de Ingeniería Mecánica. Una vez establecidas las ideas preliminares, quedan marcadas las condiciones para que resulte rentable el aire comprimido y que son: evitar la caída de presión, las fugas de aire y ofrecerle calidad para mejorar su contenido. Antes de seguir adelante, se definirán varios conceptos que serán de utilidad en la materia.

2.1.2. Consumo específico

Se llama consumo específico de una herramienta o equipo al consumo de aire requerido para servicio continuo a la presión de trabajo dada por el fabricante. Se expresa en aire libre (l / min. Litros por minuto N m³ /min. Metros cúbicos normales por minuto, CFM pies cúbicos por minuto.)

2.1.2. Coeficiente de utilización

En la determinación de la capacidad el compresor necesario para alimentar una herramienta, máquina o un grupo de accionamientos neumáticos, intervienen, aparte del consumo específico del aparato, el tiempo que el componente neumático está parado por la índole de su trabajo. Este margen de operación intermitente, o factor de servicio se denomina **Coeficiente de Utilización** y varía conforme la prestación de cada herramienta, máquina o accionamiento.

De manera que se puede estimar en:

| | |
|----------------|-----|
| Atornilladores | 25% |
| Remachadores | 50% |
| Taladros | 25% |
| Lijadoras | 50% |
| Roscadoras | 30% |

Por tanto, bastará sumar los consumos de todas las herramientas que se deseen emplear y hacer una reducción del tanto por ciento indicado, por trabajo no simultáneo para obtener la capacidad del compresor.

2.1.3. Coeficiente de simultaneidad

Cuando hay en funcionamiento diversas herramientas o en general, todos los equipos que integran, una industria o un centro de servicio, el promedio de los coeficientes de utilización de cada una de ellas nos dará una cifra denominada **coeficiente de simultaneidad**.

Como es laborioso definir el coeficiente de utilización unidad por unidad (aunque, si es posible hacerlo, siempre tendremos un dato más exacto), se da una cifra global para todo el conjunto de equipos de una planta.

Puede estimarse así:

| | |
|--------------------------|----------|
| Fundiciones | 55 a 60% |
| Talleres mecánicos | 40 a 45% |
| Talleres de servicio | 35 a 40% |
| Construcciones metálicas | 45 a 50% |
| Construcciones varias | 20 a 25% |

2.1.4. Capacidad de los compresores

Para evaluar la capacidad del compresor o compresores a colocar, es necesario conocer el consumo medio del conjunto de utilizaciones del aire comprimido en los laboratorios.

La capacidad del compresor o compresores necesarios puede averiguarse estableciendo los sucesivos procedimientos:

- Se estudian detenidamente todas las aplicaciones que en los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica puedan tener aire comprimido.
- De éste estudio aparecerán los tipos y el número de herramientas y equipos neumáticos que se necesitan para trabajar.
- Se anota una lista de cada modelo de herramienta o de equipo y su número, tomando como referencia su consumo específico.
- Se perfila el consumo general promedio del aire libre de todas las unidades neumáticas.
- Establézcase el coeficiente de utilización individual o el coeficiente de simultaneidad global por características de la industria en este caso se podrá tomar como un taller grande.
- Se multiplica el consumo total promedio de aire libre por el coeficiente de simultaneidad para obtener la cantidad de aire libre que deberá suministrar el compresor.
- Se añade un tanto por ciento de consumo de aire, que suele oscilar entre un 5 y un 10% sobre el computado, para integrar la parte de pérdida de aire en el sistema.
- Se agrega un tanto por ciento de consumo de aire por posibilidades de ampliación.
- La suma de todos estos valores será el consumo de aire total correspondiente a estudio planificado.

2.1.5. Número de compresores

Una vez concretadas las necesidades de aire comprimido es muy importante considerar el número de compresores a instalar, surgiendo la pregunta: ¿Se debe elegir un compresor grande o varios pequeños?

Aunque los compresores son máquinas simples y robustas, requieren conservación y puede ser necesario retirarlas del servicio para repararlas. Si sólo se considera el costo por metro cúbico de aire comprimido, basta con elegir un compresor grande, pero si éste se retira de servicio, el tener una unidad de reserva de la misma capacidad para hacer frente a todas las necesidades será una inversión excesiva.

Una solución puede ser instalar tres máquinas de igual capacidad y que cada una de ellas sea capaz de suministrar la mitad de las necesidades totales de aire, dos compresores estarán normalmente en funcionamiento, mientras que el otro permanecerá en reserva ya que de esta forma se tiene la seguridad de un trabajo continuado o de poder alternar periódicamente los grupos instalados con el consiguiente beneficio para los mismos.

La escuela de Ingeniería Mecánica cuenta con varios laboratorios que forman parte de la preparación académica de dicha carrera, es importante mencionar que algunos laboratorios aún no están trabajando, pero se contemplaron en esta propuesta, a continuación se listarán los diferentes laboratorios con sus respectivas cargas de aire comprimido.

2.2. Cálculo de cargas laboratorio de motores de combustión interna

El laboratorio de motores de combustión interna se encuentra actualmente analizando diversos motores de combustión interna, que los estudiantes se encargan de estudiar el funcionamiento así como realizar las prácticas que comprende curso, se trata de analizar, inspeccionar, armar y desarmar los diferentes componentes de los motores que se encuentran en el laboratorio.

Requerimientos de aire comprimido

- 6 Pistolas para realizar limpieza, con un consumo específico de aire comprimido de $0.90 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 equipo para pintar, este equipo consistirá en tener lo esencial para realizar trabajos de pintura dentro del laboratorio de motores de combustión interna, el consumo específico es de $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 3 Llaves de impacto árbol cuadrado de 2.5 plg, con un consumo específico de $5.40 \text{ m}^3/\text{min}$.

En total el laboratorio de motores de combustión interna tendrá un consumo de aire de $6.45 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.3. Cálculo de cargas laboratorio de refrigeración y aire acondicionado

En el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado se estudian los diversos componentes de un circuito de refrigeración ya sea domiciliar é industrial por tal motivo necesita aire comprimido para efectuar éstos trabajos:

Requerimientos de aire comprimido

- 2 pistolas de pintar con un consumo específico de $0.30 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 3 pistolas para limpieza con un consumo específico de $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$.

En total el laboratorio de refrigeración y aire acondicionado tendrá un consumo de aire de $0.75 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.4 Cálculo de cargas laboratorio de metalurgia y metalografía

En el laboratorio de metalurgia y metalografía se estudia parte del proceso que conlleva a la fundición de metales a través de el calor que pueda generar la combustión de un combustible, el aire comprimido puede utilizarse para lograr un trabajo más eficiente y dinámico.

Requerimientos de aire comprimido:

- 4 Mecheros Horno fuel – oil con un consumo específico de $16 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 3 pistolas de limpieza con un consumo específico de $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 4 boquillas para suministro de calor, con un consumo específico de $14.00 \text{ m}^3/\text{min}$.

En total el laboratorio de Metalurgia y Metalografía tendrá un consumo de aire de $30.45 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.5 Cálculo de cargas laboratorio de procesos de manufactura I

En el laboratorio de procesos de manufactura I el estudiante se enrola con las maquinas herramientas que podrá encontrar en la industria, por ejemplo tornos, limadoras mecánicas, taladros, fresadoras y otros, es en éste laboratorio en donde el estudiante de ingeniería mecánica conoce el funcionamiento de las diversas máquinas herramientas, las diversas gamas de trabajo que se pueden realizar con ellas, así como las ventajas y desventajas que cada una de ellas ofrece, al momento de enrolarse en un trabajo.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 Centro de mecanizado, trabajará con un torno CNC cuyo consumo específico de $0.32 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 Taladro neumático, con un consumo específico de $1.0 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 2 Esmeriles con un consumo específico de $1.80 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 Pistola de limpieza con un consumo específico de $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$.

En total el laboratorio de Procesos de Manufactura I tendrá un consumo de aire de $3.27 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.6 Cálculo de cargas laboratorio de procesos de manufactura II

En el laboratorio de procesos de manufactura II el estudiante se enrola con las maquinas soldadoras que podrá encontrar en la industria, por ejemplo soldaduras eléctricas, soldadura MIG, soldadura TIG, Soldadura de Árgon, soldadura oxiacetilénica, es en éste laboratorio en donde el estudiante de ingeniería mecánica conoce el funcionamiento y la aplicación de las diversas soldaduras con las que se puede encontrar en la industria al momento de enrolarse en un trabajo.

Requerimientos de aire comprimido:

- Pistola de pintar para realizar diversos trabajos de pintura en dicho laboratorio, el consumo específico es de $0.30 \text{ m}^3/\text{min}$.

En total el laboratorio de Procesos de Manufactura II tendrá un consumo de aire de $0.30 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.7 Cálculo de cargas laboratorio de instalaciones mecánicas

En el laboratorio de instalaciones mecánicas el estudiante se enrola con las maquinas que proporcionan aire comprimido que podrá encontrar en la industria, por ejemplo compresores centrífugos, alternativos, de pistón, de paletas, de tornillo, es en éste laboratorio en donde el estudiante de ingeniería mecánica conoce el funcionamiento y la aplicación de los diversos compresores con los que se puede encontrar en la industria al momento de enrolarse en un trabajo.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 Pistola de pintar para realizar diversos trabajos de pintura en dicho laboratorio, el consumo especifico es de $0.30 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 Pistola de limpieza con un consumo específico de $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 2 Tableros para trabajos pedagógicos con un consumo especifico de $3.60 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.8 Cálculo de cargas laboratorio de instrumentación mecánica

En el laboratorio de instrumentación mecánica el estudiante se enrola con las equipos relacionados a la instrumentación que podrá encontrar en la industria, por ejemplo medidores de tiempo y frecuencia, medidores de presión, medidores de temperaturas, medidores de volumen de fluidos, es en éste laboratorio en donde el estudiante de ingeniería mecánica conoce el funcionamiento y la aplicación de los diversos equipos de instrumentación con los que se puede encontrar en la industria al momento de enrolarse en un trabajo.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 Pistola de pintar para realizar diversos trabajos de pintura en dicho laboratorio, el consumo específico es de $0.30 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 Pistola de limpieza con un consumo específico de $0.15 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 2 Tableros para trabajos pedagógicos con un consumo específico de $3.60 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.9 Cálculo de cargas salón 101 de clase del edificio T-7

En los salones de clase, el estudiante se enrola con los equipos relacionados a nuevas innovaciones o nuevas tecnologías que puedan reemplazar a las existentes y de las cuales podrá encontrar en la industria.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 pistolas para limpieza con un consumo específico de $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 equipo demostrativo con un consumo específico de $5.40 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.10 Cálculo de cargas salón 102 de clase del edificio T-7

En los salones de clase, el estudiante se enrola con los equipos relacionados a nuevas innovaciones o nuevas tecnologías que puedan reemplazar a las existentes y de las cuales podrá encontrar en la industria.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 pistolas para limpieza con un consumo específico de $0.45 \text{ m}^3/\text{min}$.
- 1 equipo demostrativo con un consumo específico de $5.40 \text{ m}^3/\text{min}$.

2.11 Cálculo de cargas salón 103 de clase del edificio T-7

En los salones de clase, el estudiante se enrola con los equipos relacionados a nuevas innovaciones o nuevas tecnologías que puedan reemplazar a las existentes y de las cuales podrá encontrar en la industria.

Requerimientos de aire comprimido:

- 1 pistolas para limpieza con un consumo específico de 0.45 m³/min.
- 1 equipo demostrativo con un consumo específico de 5.40 m³/min.

A continuación se presenta la tabla I en la cual se puede observar mejor los consumos de cada laboratorio.

Tabla I. Necesidades de aire comprimido en cada laboratorio de la Escuela de Ingeniería Mecánica

| Laboratorio | Tipo de máquina | Cantidad | Consumo Específico m ³ /min | Consumo Total m ³ /min | Suma m ³ /min |
|-------------------------------|-------------------------|----------|--|-----------------------------------|--------------------------|
| Procesos de manufactura I | Centro de Mecanizado | 1 | 0.32 | 0.32 | 3.27 |
| | Taladros | 1 | 1.00 | 1.00 | |
| | Esmeril | 2 | 0.90 | 1.80 | |
| | Pistola de limpieza | 1 | 0.15 | 0.15 | |
| Procesos de manufactura II | Pistola de Pintar | 2 | 0.15 | 0.30 | 0.30 |
| Motores de combustión interna | Pistola de limpieza | 6 | 0.15 | 0.90 | 6.45 |
| | Pistola de Pintar | 1 | 0.15 | 0.15 | |
| | Llaves impacto árbol | 3 | 1.80 | 5.40 | |
| | Cuadrado de 2.5 plg | | | | |
| Metalurgia y metalografía | Mecheros Horno fuel-oil | 4 | 4.00 | 16.00 | 30.45 |
| | Pistola de limpieza | 3 | 0.15 | 0.45 | |
| | Boquillas | 4 | 3.50 | 14.00 | |

Continuación

| Laboratorio | Tipo de máquina | Cantidad | Consumo Específico m ³ /min | Consumo Total m ³ /min | Suma m ³ /min |
|------------------------------------|------------------------------------|----------|--|-----------------------------------|--------------------------|
| Refrigeración y aire acondicionado | Pistola de Pintar | 2 | 0.15 | 0.30 | 0.75 |
| | Pistola de limpieza | 3 | 0.15 | 0.45 | |
| Plantas de vapor | Pistola de limpieza | 2 | 0.15 | 0.30 | 0.45 |
| | Pistola de Pintar | 1 | 0.15 | 0.15 | |
| Instalaciones mecánicas | Pistola de limpieza | 2 | 0.15 | 0.30 | 3.90 |
| | Tableros | 2 | 1.80 | 3.60 | |
| Diseño de máquinas | Llaves Impacto Cuadrado de 2.5 plg | 1 | 1.00 | 1.00 | 1.15 |
| | Pistola de limpieza | 1 | 0.15 | 0.15 | |
| Salones de clase | Pistola de limpieza | 4 | 0.15 | 0.60 | 6.00 |
| | Equipo demostrativo | 3 | 1.80 | 5.40 | |
| | | | | Total | 52.72 |

Resumen

- Procesos de Manufactura 1 3.27 m³/min.
 - Procesos de Manufactura 2 0.30 m³/min.
 - Motores Combustión Interna 6.45 m³/min.
 - Metalurgia y Metalografía 30.45 m³/min.
 - Refrigeración y Aire Acondicionado 0.75 m³/min.
 - Plantas de Vapor 0.45 m³/min.
 - Instalaciones Mecánicas 3.90 m³/min.
 - Diseño de Máquinas 1.15 m³/min.
 - Salones de Clase 6.00 m³/min.
- Suma 52.72 m³/min.**

Es decir que el consumo de aire libre que se tiene a una presión de trabajo de 8.62 bar (125 Psi) es de 52.72 m³/min.

Sin embargo este dato en absoluto no es real, puesto que cada herramienta tiene su tiempo de inactividad, según la índole de su trabajo, que se llama *coeficiente de utilización*. Multiplicando éste coeficiente de utilización por el consumo total de cada herramienta nos dará el consumo real y encontrando el promedio ponderado de los coeficientes de utilización se tendrá el *coeficiente de simultaneidad* de la utilización del aire comprimido para los laboratorios del edificio T-7.

A continuación se puede observar la tabla II que contiene los datos calculados con el coeficiente de utilización de las máquinas que trabajarán en los diferentes laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Tabla II. Cálculos utilizando el coeficiente de utilización de las máquinas.

| Laboratorio | Tipo de máquina | Consumo Total m ³ /min. | Coeficiente de Utilización | Suma m ³ /min. |
|-------------------------------|--|------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Procesos de manufactura I | Centro de Mecanizado | 0.32 | 80% | 0.26 |
| | Taladros | 1.00 | 65% | 0.65 |
| | Esmeril | 1.80 | 80% | 1.44 |
| | Pistola de limpieza | 0.15 | 70% | 0.11 |
| Procesos de manufactura II | Pistola de Pintar | 0.30 | 75% | 0.23 |
| Motores de combustión interna | Pistola de limpieza | 0.90 | 75% | 0.68 |
| | Pistola de Pintar | 0.15 | 40% | 0.06 |
| | Llaves impacto árbol cuadrado de 2.5 plg | 5.40 | 65% | 3.51 |
| Metalurgia y metalografía | Mecheros Horno fuel-oil | 16.00 | 80% | 12.80 |
| | Pistola de limpieza | 0.45 | 75% | 0.34 |
| | Boquillas | 14.00 | 80% | 11.20 |

Continuación

| Laboratorio | Tipo de máquina | Consumo Total m ³ /min. | Coefficiente de Utilización | Suma m ³ /min. |
|------------------------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Refrigeración y aire acondicionado | Pistola de Pintar | 0.30 | 75% | 0.23 |
| | Pistola de limpieza | 0.45 | 75% | 0.34 |
| Plantas de vapor | Pistola de limpieza | 0.30 | 65% | 0.20 |
| | Pistola de Pintar | 0.15 | 65% | 0.10 |
| Instalaciones mecánicas | Pistola de limpieza | 0.30 | 80% | 0.24 |
| | Tableros | 3.60 | 75% | 2.70 |
| Diseño de máquinas | Llaves Impacto | 1.00 | 80% | 0.80 |
| | Cuadrado de 2.5 plg Pistola de limpieza | 0.15 | 75% | 0.11 |
| Salones de clase | Pistola de limpieza | 0.60 | 30% | 0.18 |
| | Equipo demostrativo | 5.40 | 30% | 1.62 |
| | | | Total | 37.77 |

Resumen

- Procesos de Manufactura 1 2.45 m³/min.
- Procesos de Manufactura 2 0.23 m³/min.
- Motores Combustión Interna 4.25 m³/min.
- Metalurgia y Metalografía 24.44 m³/min.
- Refrigeración y Aire Acondicionado 0.56 m³/min.
- Plantas de Vapor 0.29 m³/min.
- Instalaciones Mecánicas 2.94 m³/min.
- Diseño de Máquinas 0.91 m³/min.
- Salones de Clase 1.80 m³/min.

Suma 37.77 m³/min.

3. SELECCIÓN DEL EQUIPO DE AIRE COMPRIMIDO

Una condición esencial que incide en el beneficio económico de una instalación de aire comprimido es la pérdida de presión. La energía neumática, como cualquier otra energía, tiene un índice perfectamente marcado. Aunque el aire existe en todo nuestro alrededor, industrialmente carece de aprovechamiento si no se le comprime a una presión mucho más alta que la atmosférica. Este proceso de compresión cuesta dinero. En primer lugar, hace falta un capital a invertir en la adquisición del compresor, red de tuberías y equipos neumáticos, en segundo lugar, hay que considerar los gastos de mantenimiento y conservación. Por lo tanto, es preciso lograr, por todos los medios, rentabilidad a esta inversión, y la única forma de conseguirla es mantener continuamente la presión de trabajo desde que sale del compresor hasta el último punto de empleo.

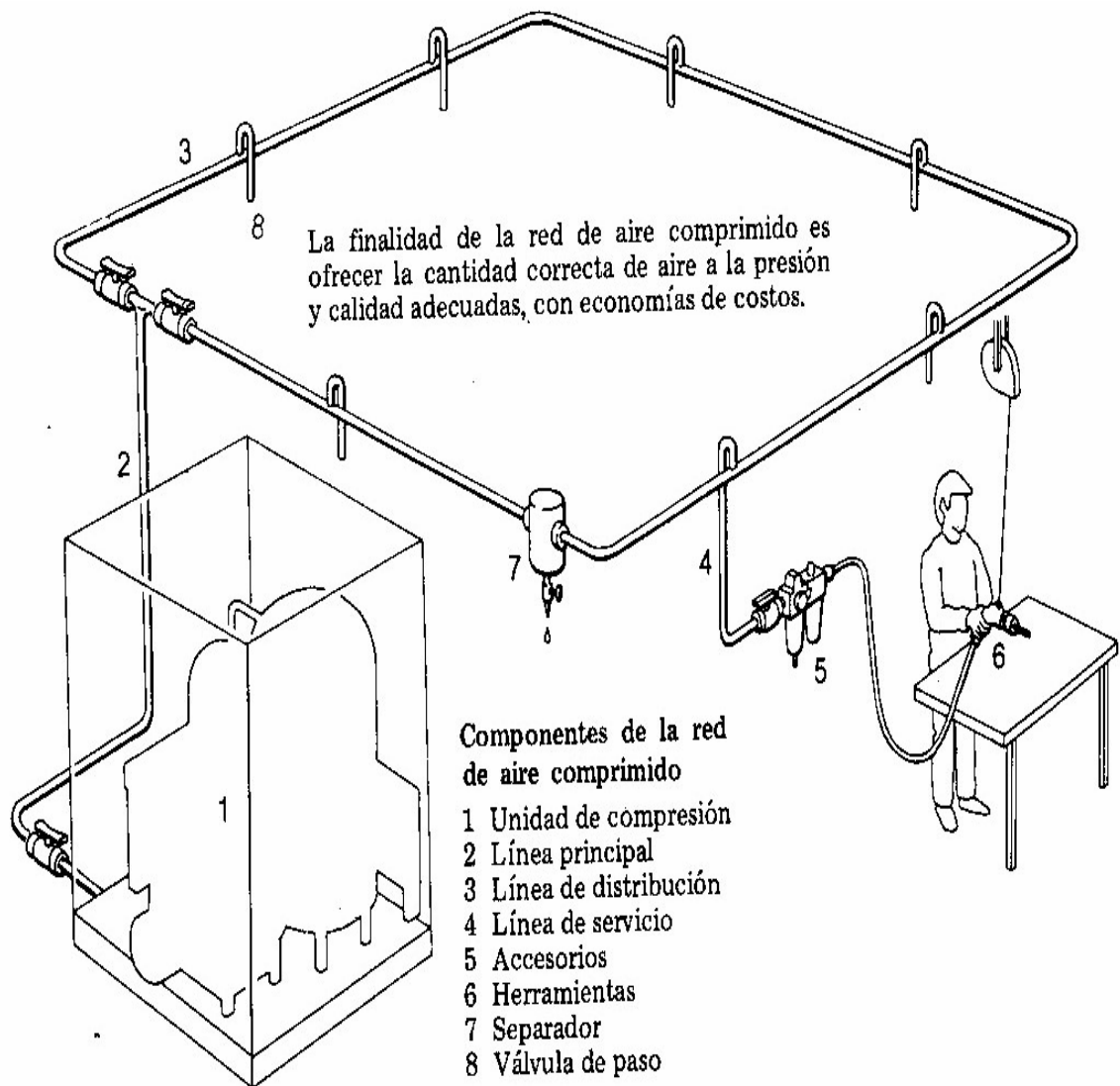
3.1 Pérdida de presión = pérdida de potencia

En condiciones normales de funcionamiento, la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo comprendida entre 6 y 7, bar en la misma herramienta o en el mismo equipo neumático que equivale a entender allí en donde el aire comprimido se expande devolviendo parte de la energía almacenada. El aire comprimido no es otra cosa que una fuente de energía utilizable mediante expansión debiendo conseguir que la conserve hasta llegar a los elementos que se van a usar.

Nunca olvide que no es igual presión de aire en el compresor que presión de aire en el puesto de aplicación. Normalmente la presión de descarga final o

presión de trabajo en los compresores es de 7 bar, pero hay que tener presente que entre el grupo compresor y el sitio de aplicación, donde la fuerza neumática ha de prestar servicio, se encuentra un depósito de aire, las unidades de depuración y una vasta red de tuberías que distribuyen el aire comprimido por toda la planta.

Figura 1. Ilustración de los componentes de una red de aire comprimido

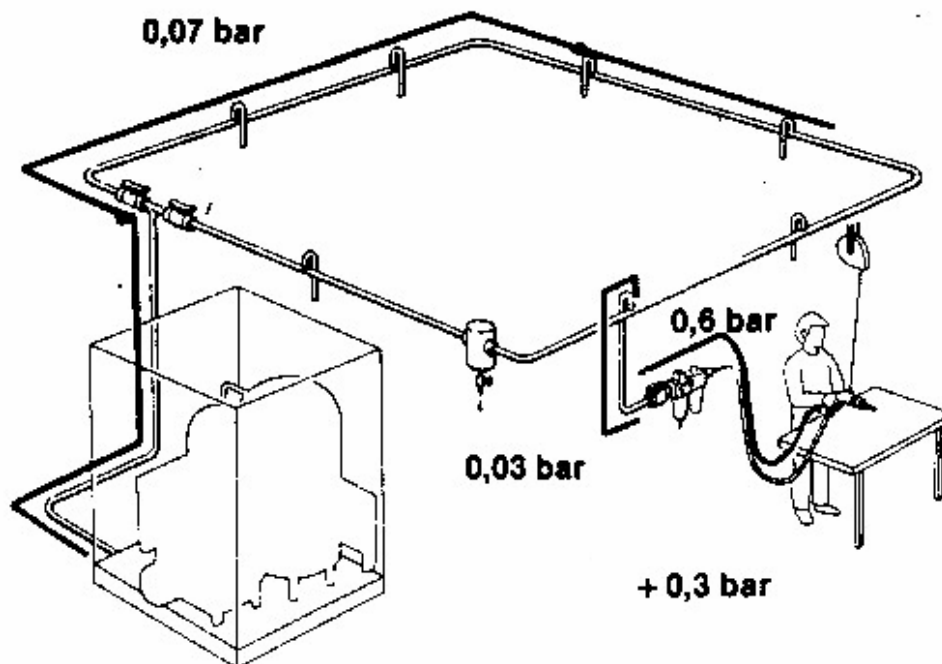


En este caso la escuela de ingeniería mecánica añadiendo los acoplamientos rápidos, filtros, mangueras, conexiones, etc., que impiden el logro de conseguir que toda la energía (presión) se transmita íntegramente a la máquina cuyo fin es utilizarla. Ahora bien, lo que sí es posible es limitar esas pérdidas de presión a unos valores relativamente pequeños y que sean admisibles en la práctica.

Se recomienda que la caída de presión del total de la instalación se establezca en un máximo de 0.6 bar.

Lamentablemente son inevitables ciertas pérdidas en forma de caída de presión. Calcular y compensar de modo correcto estas pérdidas es una parte importante del trabajo previo a la instalación de una red de aire comprimido.

Figura 2. Caída de Presión aceptables en una instalación de aire comprimido.



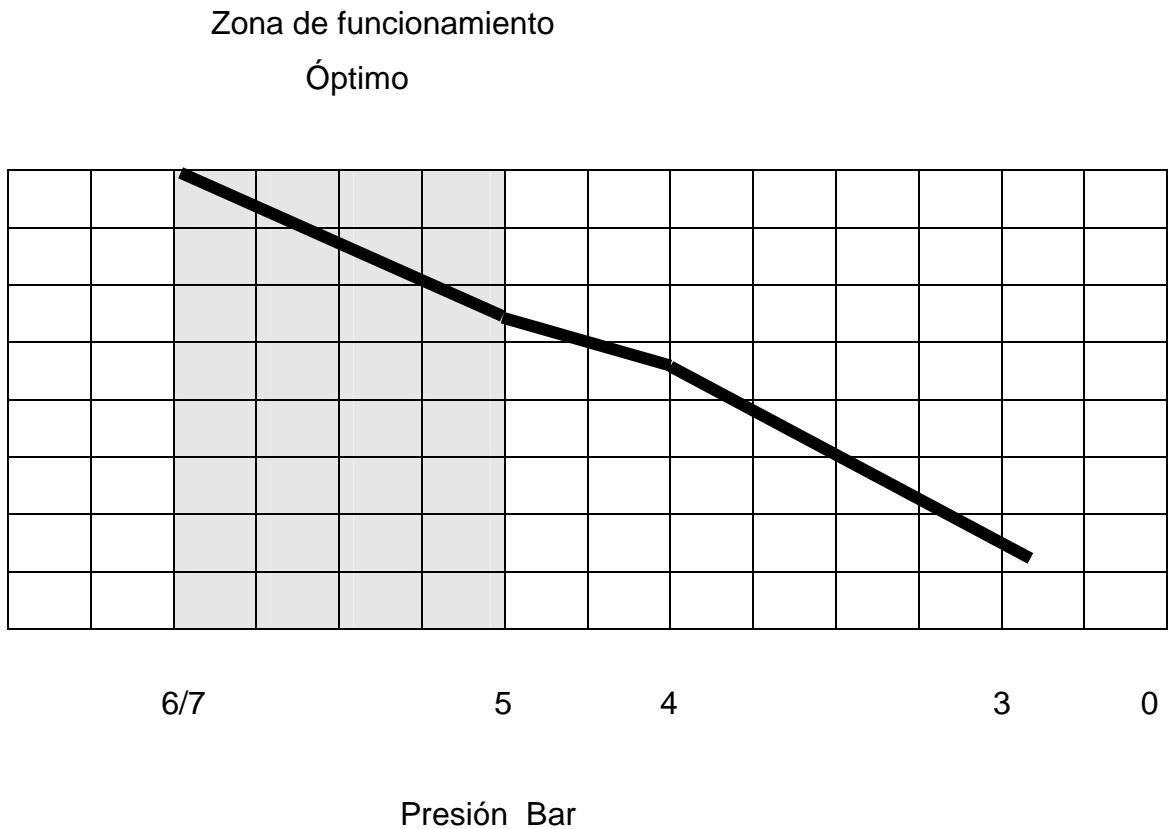
La regla es: La caída de presión en instalaciones fijas no puede sobrepasar 0.1 bar, desde la instalación del compresor hasta la llave de servicio que queda a mayor distancia en el sistema.

Tabla III. Pérdida de presión de algunos dispositivos

| | |
|--------------------------------|----------|
| Refrigerador posterior de agua | 0,09 bar |
| Refrigerador posterior de aire | 0,09 bar |
| Secador frigorífico | 0,20 bar |
| Secador adsorción | 0,30 bar |
| Separadores cerámicos | 0,10 bar |
| Red de tuberías | 0,14 bar |
| Filtros en general | 0,15 bar |

En el diagrama de la figura 3 puede observarse cómo el más alto rendimiento y por tanto la máxima potencia de una herramienta neumática se alcanza al tener la presión recomendada de 6 a 7 bar. Se aprecia además que hay una zona de funcionamiento óptimo, pues en la práctica, no todas las instalaciones de aire comprimido cumplen los elementos requisitos de cálculo y diseño. Por lo que forzosamente tendremos que admitir una variación de presión normal de empleo entre los 5 y 6.5 bar. Por debajo de los 5 bar, el rendimiento (potencia) de la herramienta baja rápidamente y por encima de 6.5 a 7 bar, los órganos de la máquina están sometidos a vibraciones excesivas que hacen fatigosa la tarea al operador y pueden provocar desperfectos.

Figura 3. Curva de rendimiento en función de la presión



Estas normas deben mantenerse siempre, salvo en aquellos casos en que el fabricante señale otras condiciones de trabajo.

Si poseemos una herramienta de percusión o rotativa cuyo rendimiento principal está estimado para aire comprimido a 6 bares y la presión que recibe el útil se cifra solamente en 5.6 bar, la producción de la herramienta baja en un 17 % y sin la presión es de 4.2 bar su rendimiento desciende un 50%. Es evidente que si el útil o equipo neumático no recibe la presión adecuada y que

si un operador ha de servirse para su trabajo de una herramienta que sólo tiene un rendimiento del 50% esto significa que la mitad de su salario la mal gasta.

De todo lo anterior se deduce que no es económico montar tuberías insuficientemente calibradas. Nunca quedará debidamente subrayada la gran importancia que no tiene cuidado extremadamente el cálculo de las tuberías de aire comprimido ya que hemos de asegurarnos de que la energía neumática que se gasta se materialice efectivamente en el trabajo de la herramienta, único medio de que una instalación de aire comprimido sea rentable.

3.2. Pérdidas de aire admisibles por fugas

Ciertamente que en la práctica es imposible suprimir las fugas de aire comprimido. Las pérdidas de aire admisible por fugas, en tantos por ciento de la capacidad total de los compresores instalados, dependen de varios factores, por ejemplo en un amplio sector de industrias que utilizan herramientas neumáticas comunes, atornilladores, taladros, etc., talleres mecánicos en general, las pérdidas de aire por fugas no tendrían que pasar del 5 y 10% del consumo palpable de aire. Colocando accesorios de calidad y montando las uniones soldadas esto se consigue. Si no las fugas de aire cuentan dinero

En instalaciones en donde coexisten gran cantidad de máquinas movidas por aire con escapes innatos en ellas, (fundiciones) o cuando la red de aire presenta notables longitudes o se instala provisionalmente las pérdidas de aire pueden variar entre el 10 y 15%. En los talleres de forja cuyos martillos están expuestos a un desgaste reiterado, es difícil sostener las fugas de aire por debajo de un 10 a 15%.

Como pauta, un margen entre el 10 y 15 % de la capacidad del compresor, habría de destinarse a paliar el escape de aire por fugas, y tenerlo bien en cuenta al ir a considerar el caudal de aire libre proporcionando por el compresor.

Con los datos de la tabla II puede observarse que se tiene un dato preliminar de 37.77 m³/min. de consumo de aire, se calculó el coeficiente de simultaneidad y dio como resultado el 68%, entonces aplicándolo para todos los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica se tiene lo siguiente:

$$37.77 \text{ m}^3/\text{min.} * 0.68 = 25.6836 \text{ m}^3/\text{min.}$$

por lo que respecta a la capacidad del compresor o los compresores hay que partir del consumo total de los laboratorios del edificio T-7, al cual habrá que añadir un 15% por pérdidas de aire admisibles por fugas, así como sumarle un 30% para prever posibles ampliaciones, de manera que se tiene la siguiente información.

| | |
|-----------------------|-------------------------------|
| Consumo de aire | 25.6836 m ³ /min. |
| 15% pérdida por fugas | 3.85254 m ³ /min. |
| 30% ampliación | 7.70508 m ³ /min. |
| Total | 37.24122 m ³ /min. |

Esto quiere decir que el compresor o grupo de compresores, debe cubrir como mínimo, 37.24122 m³/min. a una presión de trabajo de 8.62 bar (125 Psi.)

Hay que examinar los catálogos de los compresores que existen en el mercado guatemalteco, analizar cual conviene adoptar para resolver el problema planteado, además se recomienda la conveniencia de aplicar el método de “2+1” o sea añadir, además, uno de la misma potencia, capacidad y marca, como reserva.

Una vez conocido el modelo del compresor, se puede pasar a identificar los demás componentes que integran el cuarto de compresores. Para ello se recurrirá a la Tabla IV a fin de consultar la calidad de aire comprimido que se tendrá que gestionar así como el punto de rocío para el secador y el grado de filtraje más ventajoso.

Tabla IV Clasificación de Calidades de Aire Comprimido según Pneurop 6611/1984.

| Aplicación | Clase de Calidad | | | Clase | Tamaño Partícula μm | Densidad Partícula mg/m^3 |
|---------------------------------------|------------------|-------|--------|-------|--------------------------------|---|
| | Sólidos | Agua | Aceite | | | |
| Aire de agitación | 3 | 5 | 3 | 1 | 0.1 | 0.1 |
| Aire de almacenamiento | 2 | 2 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| Aire de medición | 2 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| Motores neumáticos grandes | 4 | 4 - 1 | 5 | 4 | 40 | sin especificar |
| Motores neumáticos pequeños | 3 | 3 - 1 | 3 | | | |
| Turbinas de aire | 2 | 2 | 3 | | | |
| Máquinas de calzado | 4 | 4 | 5 | | | |
| Máquinas para áridos y vidrio | 4 | 4 | 5 | | | |
| Limpieza de máquinas | 4 | 4 | 4 | | | |
| Construcción civil | 4 | 5 | 5 | | | |
| Transporte de sustancias granulares | 3 | 4 | 3 | | | |
| Transporte de sustancias pulverizadas | 2 | 3 | 2 | | | |
| Circuitos de energía fluidica | 4 | 4 | 4 | | | |
| Sensores fluidicos | 2 | 2 - 1 | 2 | | | |
| Máquinas de fundición | 4 | 4 | 5 | | | |
| Transporte de alimentos y bebidas | 2 | 3 | 1 | | | |
| Dispositivos industriales manuales | 4 | 5 - 4 | 5 - 4 | | | |
| Herramientas de mecanizado | 4 | 3 | 5 | | | |
| Minería | 4 | 5 | 5 | | | |
| Máquinas textiles y de embalaje | 4 | 3 | 3 | | | |
| Procesamiento de fotografía | 1 | 1 | 1 | | | |
| Cilindros neumáticos | 3 | 3 | 5 | | | |
| Controladores de presión | 3 | 2 | 3 | | | |
| Dispositivos de control de procesos | 2 | 2 | 3 | | | |
| Martillos perforadores | 4 | 5-2 | 5 | | | |
| Plantas de arenado | - | 3 | 3 | | | |
| Pistolas atomizadoras | 3 | 3-2 | 3 | | | |
| Máquinas de soldar | 4 | 4 | 5 | | | |
| Aire para trabajos generales | 4 | 4 | 5 | | | |

Los valores indicados en la tabla, son sólo valores de referencia.
 En algunos casos se pueden aplicar varias clases simultáneamente
 Al localizar las clases se deben considerar las condiciones ambientales,
 Especialmente al seleccionar el punto de rocío.

Puntos de rocío a presión
(Valores máximos)

| Clase | Punto de rocío $^{\circ}\text{C}$ |
|-------|-----------------------------------|
| 1 | - 40 $^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | - 20 $^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | 2 |
| 4 | 10 |
| 5 | sin especificar |

Puntos de rocío bajos deben ser prescritos expresamente.

Contenido máximo de aceite

| Clase | mg/m^3 |
|-------|------------------------|
| 1 | 0.01 |
| 2 | 0.1 |
| 3 | 1 |
| 4 | 5 |
| 5 | 25 |

m^3 referidos a aire atmosférico

Para mejor entendimiento a continuación se especifican valores típicos de contenido de aceite producidos por los compresores

| | |
|---|-------------------------------------|
| Compresor de tornillo exento de aceite: | 0.001 - 0.01 mg/m^3 |
| Compresor de tornillo lubricado: | 2 - 15 mg/m^3 |
| Compresor de piston lubricado: | 2 - 10 mg/m^3 |
| Compresor rotativo (paletas): | 10 - 100 mg/m^3 |

3.3. Parámetros

Los parámetros claves que deciden una instalación de aire comprimido son:

- Presión: la presión a la cual deseamos trabajar tanto para el caudal de aire entregado por el compresor como para el de utilización en la red. Mientras no se indique lo contrario, al hablar de presiones serán siempre presiones efectivas, que se cuentan a partir de la presión atmosférica. Los manómetros industriales miden la presión efectiva.
- Caudal: el caudal de aire comprimido a suministrar por el compresor, viene expresado en M³/min. o en N l/min. referidos a aire libre.
- Pérdida de presión: la pérdida de presión, pérdida de carga o presión diferencial, Δp , distintas expresiones que vienen a significar lo mismo, se refieren a la pérdida de energía que se va originando en el aire comprimido ante los diferentes obstáculos que encuentra en su desplazamiento hacia los puntos de utilización.
- Velocidad de circulación: también existe límite para la velocidad del aire, ya que cuanto mayor es la velocidad de circulación, tanto mayor es la pérdida de presión en el recorrido hasta el punto de aplicación. En aire comprimido las velocidades oscilan entre 3 y m/s para las tuberías.

3.4. Tuberías

Para el transporte del aire comprimido desde la central de compresores hasta los lugares de utilización se emplea una red de conducciones conocidas bajo el nombre genérico de tuberías.

Todo movimiento de un fluido por una tubería produce una pérdida de presión debido a su rugosidad y diámetro asociado. La selección de los diámetros de las tuberías de una red de aire se determina según los principios

de la mecánica de fluidos y para ello se utilizan ecuaciones y diagramas. Esta información no se expone en este trabajo pero puede ser consultada por el lector en cualquier libro de diseño de redes.

El material mas usado en las tuberías de aire es el acero. Debe evitarse utilizar tuberías soldadas puesto que aumentan la posibilidad de fugas, mas bien se recomiendan las tuberías estiradas. Actualmente en el mercado se encuentra un nuevo tipo de tuberías en acero anodizado que, aunque mas costosas, tienen una mayor duración que las de acero.

La identificación es una parte importante del mantenimiento. Según la norma UNE 1063 las tuberías que conducen aire comprimido deben ser pintadas de azul moderado UNE 48 103.

En general la tubería de una red no necesita mantenimiento fuera de la corrección de fugas que se producen más en las conexiones que en la tubería en sí. En caso que la tubería presenta obstrucción por material particulado debe limpiarse o reemplazarse aunque esto no es común en las empresas.

Se pueden considerar tres tipos de tuberías:

- Tubería principal, llamada también tubería madre.
- Tuberías secundarias.
- Tuberías de servicio.

3.4.1. Tubería principal

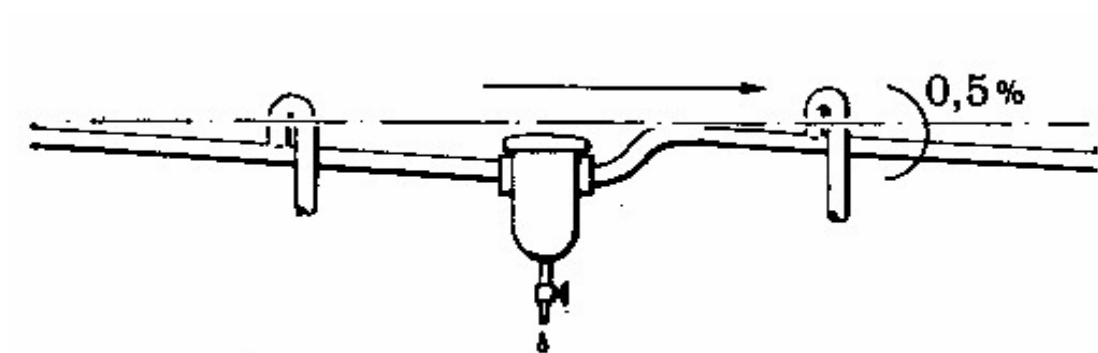
Se denomina tubería principal a la línea que sale del depósito y canaliza la totalidad del caudal de aire. Debe tener la mayor sección posible y prever un margen de seguridad en cuanto a posteriores crecimientos de fábrica y como

resultado a un aumento de la central de compresores. La velocidad máxima del aire es de 8 m/segundo.

3.4.2. Tuberías secundarias

Son las que toman el aire de la tubería principal, ramificándose por las zonas de trabajo y de las cuales salen las tuberías de servicio. El caudal de aire que transportan será el correspondiente a la suma de los caudales parciales que de ella se deriven. Al mismo tiempo, es conveniente pensar en alguna futura ampliación al calcular su diámetro. La velocidad máxima del aire es de 8 m/segundo.

Figura 4. Las líneas tanto secundarias como de distribución deben tener una inclinación mínima de 0.5 % en la dirección del flujo.



3.4.3. Tuberías de servicio

Las tuberías de servicio o bajantes, son las que alimentan a las herramientas o equipos neumáticos en el punto de manipulación.

Llevar los acoplamientos de cierre rápido e incluyen las mangueras de aire, así como los grupos filtro-regulador-engrasador.

Se requiere dimensionarlas conforme al número de salidas o tomas, procurando no colocar más de dos o tres acoplamientos rápidos en cada una de ellas.

Y evitar poner tuberías de servicio inferiores a $\frac{1}{2}$ " Φ , ya que si el aire está sucio puede cerrarlas.

La velocidad máxima del aire es de 15 m/segundo. Las tuberías demasiado pequeñas causan altas velocidades de circulación de aire, haciendo difícil la separación por métodos mecánicos de las partículas contaminantes en suspensión.

3.4. Cálculo de tuberías

Cuando se transporta un fluido a través de una tubería se origina inevitablemente una pérdida de presión que se traduce en un consumo de energía y por tanto en un aumento de los costos de explotación.

La disminución de presión viene motivada por el rozamiento en los tubos rectos

3.5. Determinación del diámetro más económico de la tubería

La búsqueda de la tubería más económica está supeditada al tipo de instalación que se vaya a proyectar, pues todo depende de que se pueda admitir una caída de presión mayor o menor y de si la tubería va a ser montada de modo permanente o transitorio.

Sin embargo como práctica común cuando alguien pretende instalar o reemplazar una red de aire comprimido en su industria o campo de aplicación se encuentra falto de criterios que le puedan llevar a encontrar la solución

correcta desde el punto de vista económico, o elegir a elegir la más conveniente de las ofertas que le hagan.

Esta falta de criterios le hace inclinarse con frecuencia hacia la proposición de compra mas baja, lo que significa, en un alto porcentaje, un mal negocio, una inversión de capital de dudosa rentabilidad.

En efecto en el coste del transporte de aire comprimido intervienen dos factores: la amortización del precio-global de la tubería con su montaje y la pérdida de presión o energía durante su desplazamiento.

El primer factor aumenta con el diámetro de tubería; el segundo disminuí; el segundo disminuye. De tal manera que se puede constatar lo siguiente:

- A pequeños caudales, los errores cometidos en la elección de tuberías, en uno u otro sentido, son proporcionalmente mayores que en los grandes caudales.
- Para los grandes caudales, un error en aumentar el diámetro de tubería es menos grave, aunque eleve su precio, que si reducimos su sección.

En resumen, no hay que obsesionarse con el dato precio-diámetro de la tubería si con ello se abandona una de las reglas fundamentales de la neumática: reducir la pérdida de presión hasta los límites permisibles. En la inmensa mayoría de las herramientas o equipos neumáticos, la presión de entrada ejerce una gran influencia sobre su rendimiento.

Para el diseño de la red se recomiendan las siguientes observaciones:

- Diseñar la red con base en la arquitectura del edificio y de los requerimientos de aire.

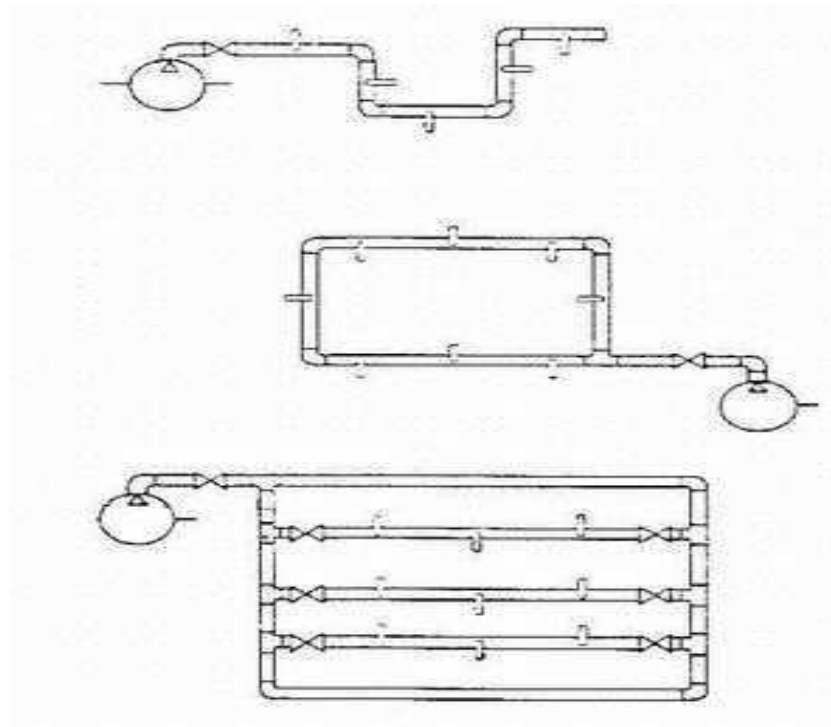
- Procurar que la tubería sea lo más recta posible con el fin de disminuir la longitud de tubería, número de codos, tees, y cambios de sección que aumentan la pérdida de presión en el sistema.
- La tubería siempre deber ir instalada aéreamente. Puede sostenerse de techos y paredes. Esto con el fin de facilitar la instalación de accesorios, puntos de drenaje, futuras ampliaciones, fácil inspección y accesibilidad para el mantenimiento.
- Una tubería enterrada no es práctica, dificulta el mantenimiento e impide la evacuación de condensados.
- La tubería no debe entrar en contacto con los cables eléctricos y así evitar accidentes.
- En la instalación de la red deberá tenerse en cuenta cierta libertad para que la tubería se expanda o contraiga ante variaciones de la temperatura. Si esto no se garantiza es posible que se presentes "combas" con su respectiva acumulación de agua.
- Antes de implementar extensiones o nuevas demandas de aire en la red debe verificarse que los diámetros de la tubería si soportan el nuevo caudal.
- Un buen diámetro de la tubería principal evita problemas ante una ampliación de la red. La línea principal deberá tener una leve inclinación en el sentido de flujo del aire para instalar sitios de evacuación de condensados.
- Para el mantenimiento es esencial que se ubiquen llaves de paso frecuentemente en la red. Con esto se evita detener el suministro de aire en la red cuando se hagan reparaciones de fugas o nuevas instalaciones.
- Todo cambio brusco de dirección o inclinación es un sitio de acumulación de condensados. Allí se deben ubicar válvulas de evacuación.

- Las conexiones de tuberías de servicio o bajantes deben hacerse desde la parte superior de la tubería secundaria para evitar el descenso de agua por gravedad hasta los equipos neumáticos y su deterioro asociado. Un ejemplo de dicha conexión se muestra en la Figura 7

3.6. Configuración de una red de aire comprimido

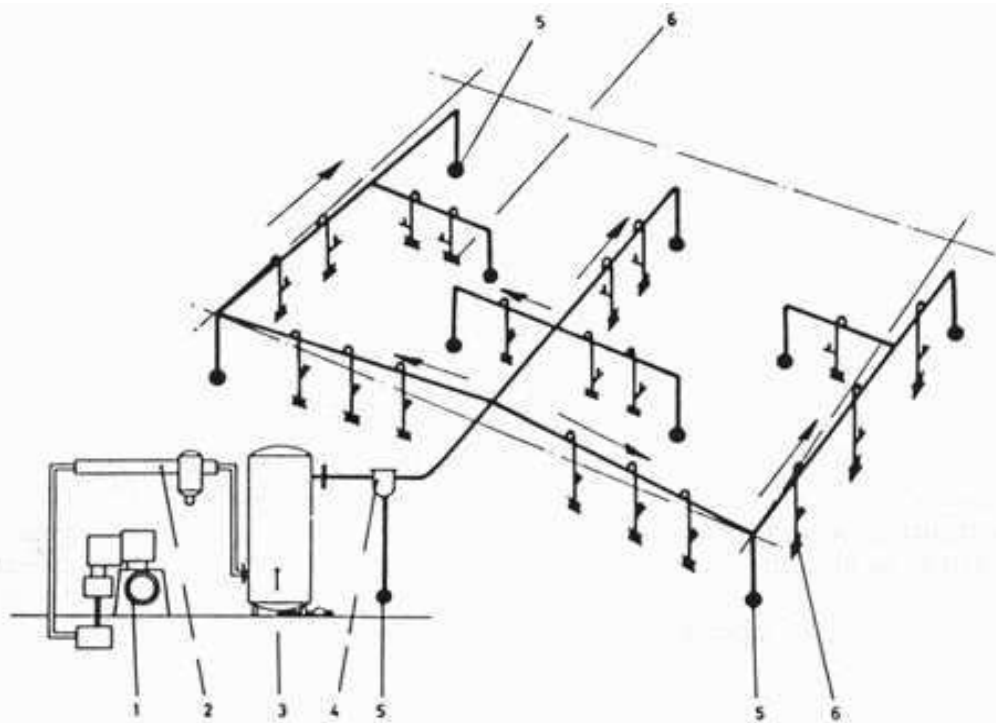
Existen varias posibles configuraciones de una red de aire comprimido tal como se muestra en la Figura 3. En una red de aire el factor más esencial de todos es la distribución de agua en la red puesto que los datos de pérdidas, velocidad, presión y otros pueden ser calculados matemáticamente sin mayor dificultad. En cambio las zonas de acumulación de agua en una red han de ser detectadas por la pericia del ingeniero.

Figura 5. Posibles configuraciones de las redes de aire



- Red abierta: Se constituye por una sola línea principal de la cual se desprenden las secundarias y las de servicio tal como se muestra en la Figura 5. La poca inversión inicial necesaria de esta configuración constituye su principal ventaja. Además, en la red pueden implementarse inclinaciones para la evacuación de condensados tal como se muestra en la Figura 6. La principal desventaja de este tipo de redes es su mantenimiento. Ante una reparación es posible que se detenga el suministro de aire "aguas abajo" del punto de corte lo que implica una detención de la producción.

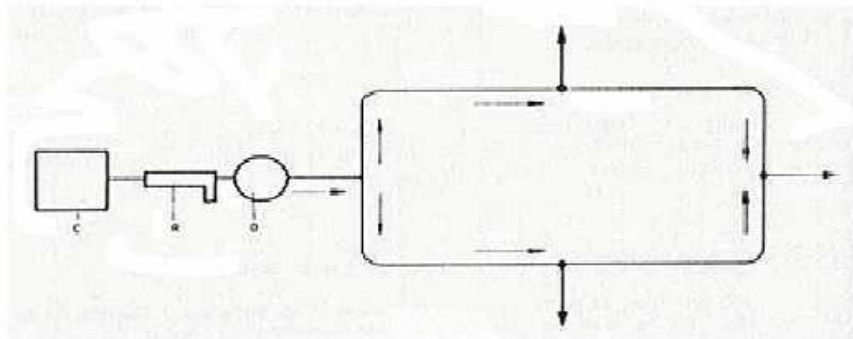
Figura 6. Configuración abierta y su inclinación



1. Compresor.
 2. Refrigerador posterior.
 3. Calderín con purga automática.
 4. Separador (centrifugo o cerámico).
 5. Purgas en finales de ramal con válvula automática o manual.
 6. Tubería de servicio (bajantes) con purga manual y enchufes.
- Pendiente en la dirección del flujo de aire, al objeto de llevar el agua a los puntos de drenaje establecidos de antemano.

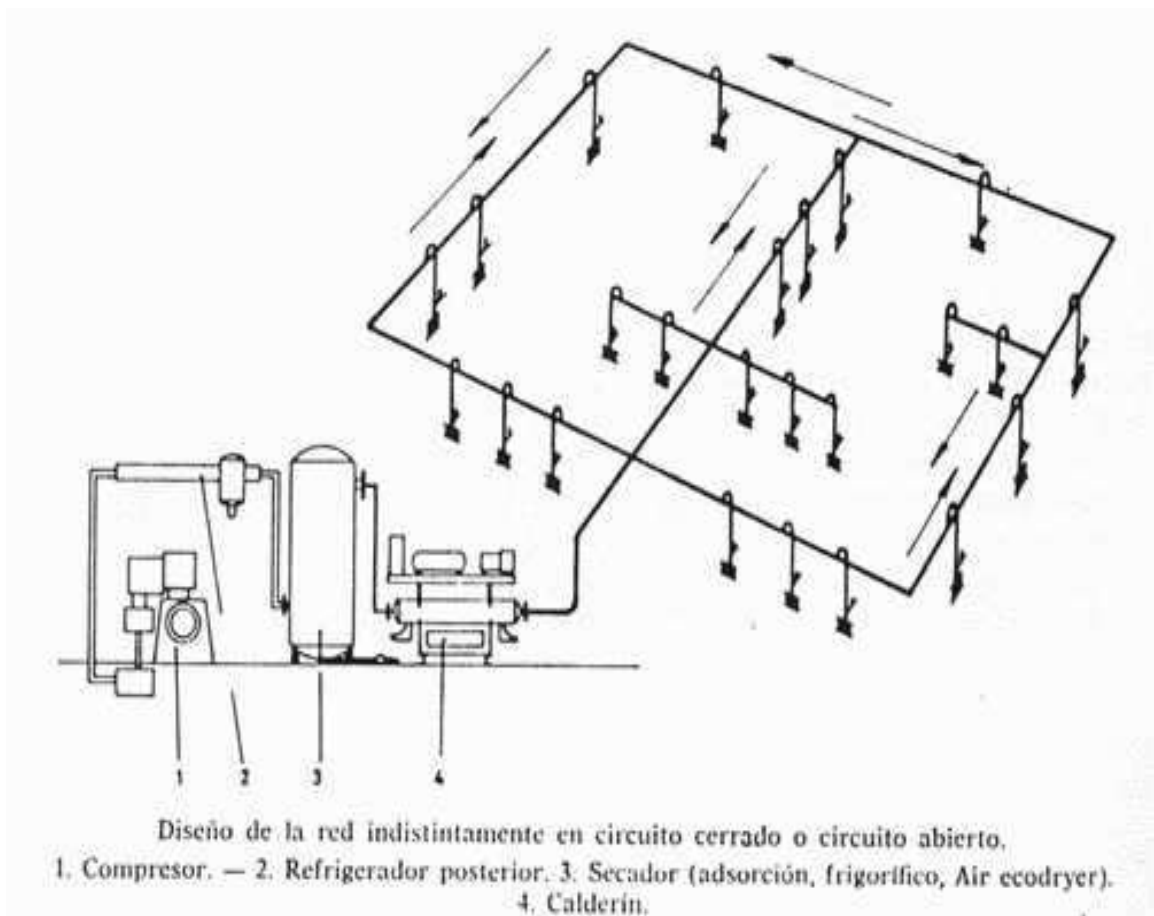
Red Cerrada: En esta configuración la línea principal constituye un anillo tal como se muestra en la Figura 5. La inversión inicial de este tipo de red es mayor que si fuera abierta. Sin embargo con ella se facilitan las labores de mantenimiento de manera importante puesto que ciertas partes de ella pueden ser aisladas sin afectar la producción. Una desventaja importante de este sistema es la falta de dirección constante del flujo. La dirección del flujo en algún punto de la red dependerá de las demandas puntuales y por tanto el flujo de aire cambiará de dirección dependiendo del consumo tal como se muestra en la Figura 7. El problema de estos cambios radica en que la mayoría de accesorios de una red (por ejemplo Filtros) son diseñados con una entrada y una salida. Por tanto un cambio en el sentido de flujo los inutilizaría.

Figura 7. Dirección del flujo en una red cerrada para una demanda característica



Cabe anotar que otro defecto de la red cerrada es la dificultad de eliminar los condensados debido a la ausencia de inclinaciones tal como se muestra en la. Esto hace necesario implementar un sistema de secado mas estricto en el sistema. Al contrario de lo pensado, *Carnicer* expone que en dichos sistemas las caídas de presión no disminuyen. Por tanto la principal razón para implementar redes cerradas es por su buen mantenimiento.

Figura 8. Configuración cerrada y su ausencia de inclinación



Red interconectada: Esta configuración es igual a la cerrada pero con la implementación de *bypass* entre las líneas principales tal como se muestra en

la Figura 8 Este sistema presenta un excelente desempeño frente al mantenimiento pero requiere la inversión inicial mas alta. Además, la red interconectada presenta los mismos problemas que la cerrada.

4. MANTENIMIENTO DE LA RED DE AIRE COMPRIMIDO

Esta claro que disponer de un equipo de operarios encargados de la supervisión y mantenimiento de una instalación de aire comprimido, o dedicarse a dar, por lo menos una vez al año durante las vacaciones estivales, un repaso a fondo a la instalación, junto con los compresores, equipos de tratamientos del aire y demás enseres neumáticos, no es nada antieconómico, sino que al revés, es el prototipo de un bien llevado plan de ahorro energético que justifica por si solo el gasto de mantenimiento. Para esto dotaremos a las tuberías de llaves de paso para que puedan independizar los ramales para su comprobación e inspección. También nos ayudaremos de un fichero que acoja el conjunto de los equipos neumáticos y sus reparaciones, con las horas de servicio, para un control del desgaste de sus órganos mecánicos y hacer el oportuno cambio de piezas. No hay que dejar las mangueras de aire por el suelo, pues pueden pasar los carros o los medios de transporte internos por encima de ellas y ocasionar grietas o daños imperceptibles que dan origen a fugas. Conviene revisar las llaves, acoplamientos rápidos y el resto de los componentes que lleven prensaestopas o ajustes expuestos al desgaste. Y como colofón hay que destacar que una fuga de gran tamaño se percibe por el ruido que produce, pero en una fuga pequeña el ruido es tan débil y suave. Estas pueden localizarse si se acerca una llama o se pasa una solución jabonosa, aunque, algunas veces, solamente con acercar la mano ya se aprecian.

4.1. Revisión de la red de aire comprimido

En muchas industrias, el aire comprimido es fuente de energía, la fuerza motriz básica de todos o gran parte de sus aparatos y máquinas. Sin embargo

no es raro encontrar instalaciones de aire comprimido escasas para la función a que van destinadas o inadecuadas por su estado de vejez, o por el hecho de que se utilicen por encima del fin para el que originalmente fueron diseñada, que ocasionan graves descensos de producción. En cantidad de ocasiones se atribuye a las herramientas los defectos de la instalación, cuando ellas son simples receptoras del aire comprimido que se les suministra bajo de presión y en malas condiciones.

Justamente el usuario de una red de aire comprimido empieza a preocuparse por su situación cuando nota ciertos signos evidentes de carencia de aire o de falta de potencia y rendimiento en sus equipos neumáticos, cuyo testimonio queda reflejado en la caída de presión que se acusa. El incremento en el consumo de energía eléctrica o desgaste prematuros de piezas son otros de los síntomas que pregonan el estado deficiente de la instalación.

Cuando así ocurra, es forzoso examinar de inmediato la instalación de aire comprimido porque:

- a) La tubería está mal dimensionada para el consumo actual y por lo tanto tiene excesiva caída de presión. La capacidad que se le reclama a la tubería no esta de acuerdo con el diámetro que tiene
- b) Presenta fugas de aire, bien en la red, bien en equipos, mangueras, etcétera.
- c) Necesita un compresor adicional. Es decir la planta generadora de aire comprimido es incorrecta o escasa.

Solución a)

Se hallará la suma total de consumos que alimenta dicha línea de aire. Para resolver, se confeccionara una lista de consumos unitarios por herramienta o equipo y se multiplica su suma por el coeficiente de simultaneidad. Determinado para la mencionada línea en fase de servicio. La cifra detectada será el caudal de aire que debe pasar por la línea motivo de atención.

A su longitud le añadiremos los metros equivalentes por codos, curvas llaves, etcétera.

Y por el monograma del cálculo de tuberías podremos realizar los comprobantes necesarios para averiguar si dicha línea es de diámetro suficiente o no para el caudal que se le requiere.

Si sucede que está subestimada y en absoluto concuerda caudal-diámetro lo mejor es cambiarla automáticamente, aunque ello cause trastornos y requiera tiempo y trabajo, a la larga devolverá en beneficios la inversión efectuada.

Solución b)

Se realiza una revisión exhaustiva, tanto de la red como de los accesorios y conexiones, inspeccionándoles de manera regular y a intervalos cortos a fin de verificar su estanqueidad. En instalaciones de escaso mantenimiento, las fugas pueden llegar a valores comprendidos entre el 20 y el 30 % de la capacidad de los compresores, lo cual equivale a una reducción de la producción, pérdida de aire realmente peligrosa en industrias de fabricación intensiva.

Para comprimir 1 m³ a 7 bar se necesitan 6 KWh. Si anotamos el número de fugas que tenemos y evaluamos su derrama, el guarismo que nos sale es asombroso por la energía consumida inútilmente.

Deducción Lógica: reducir las fugas significa un ahorro en KWh. por año. Cambiar o reponer un accesorio estropeado o que no dé el suficiente rendimiento por otro nuevo y todos los que hagan falta, aunque sean muchos, es mas barato que disponer de una instalación en donde prevalezcan las fugas. En un sistema de aire comprimido en el que el compresor se regula automáticamente, una fuga se mantiene en acción las 24 horas. El aire comprimido que escapa a través de un orificio se consume constantemente, mientras que una herramienta lo consume solamente durante una parte de tiempo de trabajo.

Solución c)

Si una vez revisados los diámetros de las tuberías y comprobadas las fugas de aire, se sigue advirtiendo que el aire que tenemos es insuficiente para el consumo, es indudable que se necesita un compresor adicional. Para saber el caudal de aire que precisamos, basta secundar las siguientes instrucciones para obtener resultados de una aproximación aceptable. En primer termino sumaremos los litros / minuto que nos indica el fabricante de los compresores que poseemos en la planta generadora; en caso de desconocer este dato consideraremos por CV de potencia en motor, un caudal de 100 a 120 litros /min. según sea el compresor antiguo o de fabricación reciente. Es decir que si tenemos un compresor de 25 CV de potencia en el motor, calcularemos a base de una caudal de aire de 2500 litros/min. o de 3000 litros/min. Con ello dispondremos del informe sobre el caudal de aire que proporciona los compresores alojados en la fábrica.

Después se procederá a realizar un replanteo completo de consumo de aire de la planta como si se tratase del estudio de una instalación nueva. Se multiplicará por el “Coeficiente de Simultaneidad” añadiendo la cuantía correspondiente para hacer frente a las posibles e inevitables fugas de aire, así como un tanto por ciento para una expansión futura.

La cifra resultante se comparará con la obtenida en función de los compresores en actividad. La diferencia entre el gasto real y el calculado de la fábrica y el caudal actual que tenemos en los compresores, será la cantidad de aire comprimido que es indispensable añadir a la existente para satisfacer las demandas de aire.

4.2. Examen económico de la pérdida de presión

Hemos dicho que la mayor parte de las herramientas y equipos neumáticos están contruidos para obtener su máximo rendimiento a una presión de trabajo comprendida entre los 6 y 7 bar en la herramienta misma. Por tanto si la presión cae por debajo de estas cifras, o los centímetro cuadrados de superficie que deben recibir el aire a esa presión no son por desgaste los originales, la potencia de la herramienta queda disminuida considerablemente.

La medición de la presión se ha de hacer lo más cerca posible del puesto de utilización, pues si medimos antes o en otros puntos, puede haber un error, ya que a lo mejor tenemos la presión bien a la entrada del ramal de aire y mal en el lugar de la aplicación.

En cierto modo, pocas fábricas emplean la potencia total que puede entregar el aire comprimido, siendo una verdadera lástima contemplar cómo no se saca a esa maravillosa energía que la ingeniería pone a nuestro alcance

todo el potencial que esconde. Las pérdidas de presión, fugas de aire y demás restricciones que vemos en los sistemas de distribución de aire dan como consecuencia que las herramientas y equipos neumáticos no puedan desarrollar toda su fuerza y ni ellas ni el operario realizan un trabajo máximo y con eficacia.

Para quedarnos con una idea, diremos que si aumentamos la presión del aire a 6 bar desde un valor aproximadamente 5 bar el aumento de potencia disponible en la herramienta (considerada de tipo medio) viene a ser de un 37 % esto significa que, corrigiendo la red de tuberías de distribución del aire para tener la presión de trabajo deseada, se aumenta la producción y su precio se amortiza rápidamente.

Para ilustrar lo dicho y ver la importancia que tiene una alimentación bien atendida en el rendimiento máximo de las herramientas neumáticas, vamos a manejar algunas cifras:

Supóngase que 10 estudiantes emplean herramientas neumáticas durante ocho horas de trabajo por día. Si imaginamos que los costos generales y los costos de la mano de obra son Q240.00 por hora, en el tiempo de trabajo se convertirán en $240 \times 10 \times 8 = Q 19,200.00$ por día si se aumenta la producción solamente un 10% de los Q 19,200.00 /día o sea de Q1,920.00 por día.

O bien si 10 herramientas consumen, por término medio 850 litros de aire por minuto con una red mal adaptada y consecuentemente, con una alimentación de aire a baja presión, se puede admitir que el consumo de aire, si la presión del mismo fuese correcta, alcanzaría un valor de 1.130 litros /minuto pero así se desarrollaría toda la potencia y se realizaría el 10% de producción suplementaria.

Lo cual quiere decir que para obtener el mismo rendimiento en las herramientas en el caso de baja presión que en el caso de presión en su justo término, sería necesario un suplemento de 280 litros/min. diarios de aire para cada una de las 10 herramientas, lo que hace un total de 2.800 litros/min. suplementarios a plena capacidad, esto es, que se necesitará 2.800 litros /min. en ves de los 1.130 litros/min. que se emplean cuando se tiene una presión de trabajo normal (6/7 bar).

Si los útiles tan sólo trabajan la mitad del tiempo establecido, igual a cuatro horas, la cantidad de aire suplementaria será de 1,400 litros/min. o de 84 m³ a la hora. Tomando un precio por ejemplo de Q6.00 los 28 m³ , este suplemento de aire costará Q18.00 por hora, o sea Q 144.00 por ocho horas de trabajo.

Al comprar esta cifra de 144 quetzales día de ahorro en aire comprimido que se tiene por mal alimentar (baja presión) las herramientas neumáticas, contra los Q1,920.00 por día que nos economizamos con el aumento de un 10% de producción, se sacará la consecuencia de que en absoluto es rentable mantener anticuada una instalación de aire comprimido, y que la modificación de la misma, así como los gastos que se invierten en instalarla correctamente, se pagan por si mismos y con prontitud.

Como resumen, si la presión de 6 bar es imposible de conservar en la red por una mala instalación, únicamente hay dos formas de proceder: o ajustar el compresor a una presión de salida más alta de lo normal, incrementando considerablemente el gasto de energía en el compresor, o aceptar por el usuario un funcionamiento del aire a una presión más baja que la recomendada, con el perjuicio consiguiente en el rendimiento de los equipos neumáticos, y

conformarse con un recorte en la producción tolerando las quejas de los operarios por encontrar dificultades en su trabajo.

4.3. Estudio económico por la pérdida de aire por fugas

Las fugas o la pérdida de aire comprimido en una instalación llamando en este caso, fuga de aire a la cantidad de aire comprimido incontrolado que se pierde es de un volumen sorprendentemente alto, y resulta difícil de descubrir dado que el aire es invisible y a la vez inodoro.

Si la fuga de aire es grande no representa un grave problema, porque normalmente apenas dura. El ruido que hace la descubre al momento, y si por una circunstancia particular, estas fugas no se detectan rápidamente, la gran caída de presión en la red permite darse cuenta de que algo anormal está ocurriendo en la planta industrial, por lo que se hace necesario verificarlo.

En cambio, la pequeña fuga de aire no suele observarse en seguida, su problema es, pues, su pequeñez, que hace que carezca de importancia. Pero nada más lejos de la realidad, puesto que si sumamos la cantidad de pequeñas fugas que pueden darse en las uniones de las tuberías (a veces de arduo acceso por su vigilancia), válvulas, racores de unión mangueras y enchufes, las que se producen por falta de ajuste en las herramientas (este escape de aire es más importante de lo que cree en general) y las que presentan los soplantes, martillos, etc., cuando no funcionan, resulta un escape continuo de aire comprimido de cuantía ilimitada. Quizá para un aparato en particular, la pérdida sea insignificante, pero cuando hay 10, 30, 50, ó 100 equipos en marcha en una industria, la cifra total toma caracteres agravantes. En las instalaciones antiguas, que no son mantenidas bajo

supervisión o en instalaciones corrientes que están descuidadas, los escapes significan de un 25 a un 30 % de la capacidad total del compresor, con un gasto razonable de mantenimiento, estas cifras pueden bajar hasta un 5 o 10% de la capacidad del compresor. El costo de fijar las pérdidas de aire por escape dentro de límites tolerables, es muy pequeño en comparación con el costo de las pérdidas de aire entre sí.

Además cuando el abastecimiento de aire comprimido es deficiente, baja la presión, resultando una reducción muy considerable de la potencia de las herramientas neumáticas pues un escape de aire queda reflejado en el manómetro. La caída de presión, por lo tanto será más rápida cuando más grande sea la fuga de aire.

Hemos de tener presente que una fuga es una pérdida de aire continua. Si tenemos un orificio de 2 a 3 mm. de diámetro, para comprimir a 6 bar el caudal de aire que se escapa por ese orificio, se necesitarían unos 15 CV de potencia, lo que equivale a decir que tal fuga consumirá la cantidad total de aire entregada por un compresor con una potencia de 15 CV.

En la tabla V se registran las pérdidas de aire, en aire libre a una presión de 6 bar, en $\text{m}^3 / \text{min.}$, así como la energía necesaria para compresión según el diámetro del orificio.

Tabla V. Energía necesaria para compensar fugas

| Diámetro del Orificio | Mm. | 1 | 3 | 5 | 10 |
|--------------------------------------|------------------------|----------|----------|----------|-----------|
| Fugas de aire a 6 bar | N m ³ /min. | 0.66 | 0.6 | 1.6 | 6.3 |
| Energía Necesaria para la compresión | CV | 0.4 | 4.2 | 11.2 | 44 |
| | W | 0.3 | 3.1 | 8.3 | 33 |

Es interesante evaluar las fugas de aire que se tienen en una instalación para averiguar su volumen. Puede hacerse de la siguiente manera: supóngase que se tiene una industria de tipo medio, la cual ha instalado un sistema de aire comprimido con una capacidad de 50 m.³ /min. Un día no laborable, pero dejando conectadas todas las herramientas y útiles neumáticos, se hace la medición. Se toma como patrón de medida el compresor instalado cuya capacidad se conoce. Se pone en marcha el compresor y se deja en funcionamiento hasta que llene de aire toda la instalación a la presión de de trabajo de 7 bar, una vez alcanzada esta presión el compresor se dispara y se controla con un cronómetro el tiempo que el compresor trabaja en vacío (T). a consecuencia de las fugas de aire existentes en el circuito (puesto que nada hay en funcionamiento) baja la presión hasta el punto mínimo (de 5 o 6 bar) en que se ha regulado la válvula piloto o la descompresión; el compresor empieza a trabajar de nuevo con carga. Se anotará también el tiempo que tarde (t) en volverse a disparar, con lo que tendremos el tiempo exacto de pérdida de aire comprimido por fugas. Si repetimos esta medición varias veces obtendremos un valor medio de tiempo más preciso.

Si la cantidad de aire suministrada por el compresor es $q = \text{m}^3$ por minuto y el tiempo que el compresor estaba en funcionamiento es t minutos, resulta que la pérdida por fugas será $q \times t \text{ m}^3$. Se puede calcular el aire desperdiciado por fugas durante un tiempo de medida T , por medio de la fórmula siguiente:

$$Q = q.t/ T \text{ en N m}^3 / \text{min}$$

Consideremos que disponemos de un compresor que da un caudal de aire de $50 \text{ N m}^3 / \text{min}$. y que las pérdidas de aire por fugas, suponen un 35% de la producción total del compresor, lo que representará $17.5 \text{ m}^3/\text{min}$. Se rebajan dichas pérdidas a un 8% quedan en $4 \text{ m}^3 / \text{min}$. La diferencia obtenida será de $13.5 > \text{m}^3/\text{min}$. volumen que se habría ahorrado con sólo ejecutar un mantenimiento racional de la instalación. Si el tiempo de funcionamiento fuese de 3600 horas el gasto de potencia en el compresor se estimase en $0.089 \text{ kWh} \cdot \text{m}^3$, el ahorro de energía sería de

$$3.600 \times 13.5 \times 60 \times 0.89 = 260.000 \text{ kWh}$$

Valor que, si lo multiplicamos por el precio vigente del kW., se llega a la conclusión de que es muy interesante establecer un mantenimiento preventivo de las instalaciones neumáticas para el control de las pérdidas de aire por fugas.

Los compresores deberán tener un mantenimiento del tipo preventivo, para asegurar el funcionamiento continuo de éstos, por lo que a continuación se presenta una propuesta para el programa de mantenimiento ver tabla 6 la cual especifica todo lo recomendado para mantener el compresor en óptimas

condiciones de operación. Se deben dar servicios a los intervalos indicados o la hora marcadas, lo que primero ocurra.

Antes de empezar la labor de mantenimiento a compresores, red de aire comprimido se debe tener presente lo siguiente.

- Emplear herramientas adecuadas
- Tener a mano los repuestos que le han sido recomendados
- Leer las instrucciones de seguridad
- Leer el manual de mantenimiento de cada compresor
- Personal capacitado.

4.4. Operación y mantenimiento de accesorios

El propósito de los accesorios (Figura 9) es mejorar la calidad del aire comprimido entregado por el compresor para adaptar este a las condiciones específicas de cada operación, algunos accesorios también se utilizan para la regulación de caudal y presión, lubricación de los equipos a instalar en la red o simplemente para cambios de direcciones en la red y paso o no de fluido dependiendo de la aplicación.

Tener aire comprimido de buena calidad es importante para asegurar una larga vida útil de los equipos neumáticos y unos óptimos resultados en los procesos que requieren dicho servicio.

Las características más importantes a tener en cuenta son:

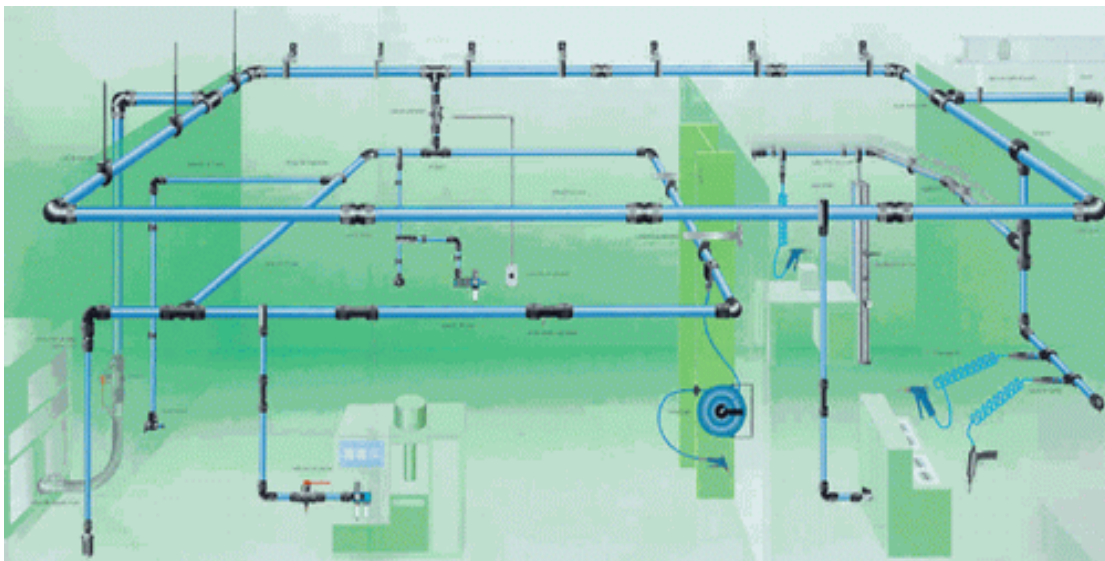
- La cantidad de aceite que contiene el aire
- La cantidad de agua presente en el mismo
- El punto de rocío
- Cantidad de partículas extrañas contenidas en el aire

4.4.1. Posenfriadores

El objetivo de este accesorio es disminuir la temperatura del aire luego de la compresión, ya que el aire luego de ser comprimido quede 100% saturado, al tener lugar una disminución brusca de temperatura se presentaran condensados, por lo cual podemos decir que este equipo sirve también para disminuir la cantidad de agua contenida en el aire; esto implica que siempre que se utilice un postenfriador es necesario instalar algún medio para retirar los condensados que este genera, tales como separadores centrífugos (separadores de mezcla).

Esencialmente un postenfriador es un intercambiador de calor en el cual el elemento que pierde calor es el aire comprimido, mientras que el medio que lo gana es algún refrigerante, usualmente aire o agua. Existen muchas formas posibles para un postenfriador, las mas comunes son concha y tubo, tubos aleteados y radiadores.

Figura 9. Ejemplo de una red y sus accesorios



4.4.2. Posenfriadores aire-aire

En lugares donde el aire tiene alta presencia de contaminantes, la utilización de este equipo es cuestionable, ya que aunque el fluido de trabajo es gratuito (menor costo de operación), la cantidad de mantenimiento aumenta los costos.

Figura 10. Posenfriadores Aire-Aire



4.4.3. Posenfriadores aire-agua

Tiene alta eficiencia, menor necesidad de espacio y mayor costo de operación por el fluido de trabajo y la instalación.

Figura 11. Postenfriador Aire-Agua



4.4.4. Separador centrífugo

Siempre se instala después del postenfriador, el objetivo del separador es retirar el agua que se ha condensado del proceso de enfriamiento del aire. Básicamente consiste en un recipiente cilíndrico que va colocado verticalmente, en su interior tiene un balde que defleca la corriente de aire, haciendo que este sufra un proceso de centrifugación, por lo cual las gotas de agua que son mas pesadas que el aire se adhieren a las paredes del recipiente, para luego caer al fondo de este por efecto de la gravedad, dicha agua será finalmente retirada mediante una trampa de drenaje automático.

4.4.5. Válvulas de drenaje automático

Las válvulas de drenaje automático deben ir en sitios donde exista la necesidad de desalojar condensados, por ejemplo filtros, separadores centrífugos, piernas de drenaje, tanque etc. La función de estas consiste en abrirse cada cierto tiempo para comunicar el sitio donde existe el condensado con el exterior, permitiendo que este sea desalojado:

Figura 12. Válvulas de Drenaje Automático



4.4.6. Válvulas de drenaje automático mecánico

Funcionan por principios mecánicos y no requieren ningún tipo de energía exterior. Tiene la desventaja que el tiempo de ciclado es relativamente aleatorio no habiendo ningún control sobre el tiempo que la válvula permanezca abierta y permitiendo que se deposite una capa sobre la válvula haciendo que esta pierda sensibilidad hasta que se bloquea.

Mantenimiento

Como consecuencia de la pérdida de sensibilidad por depósitos este tipo de válvulas requiere mantenimiento periódico.

4.4.7. Válvulas de drenaje automático de flotador

Consiste en un flotador de forma esférica instalado en la base de la misma. Que por la acción de la acumulación de condensado es desplazado hacia arriba, hasta llegar a un punto tal que ocasiona la apertura de una válvula mecánica permitiendo la salida del condensado; al salir cierta cantidad de condensado, el flotador se desplaza hacia abajo cerrando la válvula mecánica. Este ciclo se produce continuamente.

Mantenimiento

Este tipo de válvula de drenaje automático es menos susceptible de sufrir problemas por acumulación de contaminantes que la válvula de flotador, y como consecuencia el mantenimiento es menos frecuente.

4.4.8. Válvulas de drenaje automático electrónica

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

Mantenimiento

Es muy confiable y prácticamente libre de mantenimiento.

4.4.9. 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.

Mantenimiento

A continuación se ilustran los pasos que deben realizarse cada 6 meses a un filtro. Primero, purgar los sedimentos y condensados abriendo convenientemente el grifo de la parte inferior del depósito y luego eliminar la presión de aire en la instalación. Desmóntese después el depósito y el elemento filtrante. Límpiase el elemento filtrante con agua jabonosa si es de nylon, tela o bronce sinterizado. Límpiase el vaso de depósito y los conductos del cuerpo con parafina o con soluciones poco concentradas de disolvente. Se deben inspeccionar las juntas y remplazarse por otras nuevas en caso de que estén malas.

4.4.10. Filtros de partículas

Estos filtros están diseñados para retener partículas sólidas, interceptando las mismas mediante un elemento filtrante que puede ser de diversos materiales:

Papel, rejillas metálicas, mallas de nylon, espumas, etc.

Mantenimiento

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

Figura 13. Filtros



Filtro de Partículas



Filtros Coalescentes



Filtros de Carbón
Activado

4.4.11. Filtros coalescentes

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.

Mantenimiento

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

4.4.12. 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 absorción remueven dichos contaminantes.

Mantenimiento

Dichos elementos son recambiables y deben ser remplazados periódicamente puesto que se van saturando y ocasionan altas pérdidas de presión.

4.4.13. Secadores

A causa del calor generado durante el proceso de compresión, el aire comprimido sale con un grado de saturación del 100% en la mayoría de los casos; al ir disminuyendo la temperatura del aire comprimido durante su permanencia en el tanque y su paso por los diferentes accesorios y tuberías, pierde capacidad de retener vapor de agua, lo cual genera inevitablemente condensados, (agua líquida).

La presencia de condensados en el aire produce diversos problemas tales como corrosión, mal funcionamiento de herramientas neumáticas etc.

La solución a este problema son los secadores de los cuales hay de dos clases:

Refrigerados

Regenerativos

4.4.13. Refrigerados

Consisten en una maquina con un circuito de refrigeración típico el cual se encarga de enfriar aire por debajo de la temperatura mínima histórica en la red produciéndose intencionalmente condensados que son retirados por medio de un separador centrífugo.

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.

Figura 14. Secadores refrigerados



Funcionamiento

Se comprende mejor si se separan los fluidos que intercambian calor

Circuito de Aire:

El aire entra al secador, en caso de existir un preenfriador y un poscalentador, sufre preenfriamiento, luego pasa al evaporador, donde es retirado una gran

cantidad de calor a consecuencia de lo cual sufre un brusco enfriamiento, generándose una gran cantidad de condensado, posteriormente pasa a través del separador donde se retira el agua líquida. Finalmente si hay un preenfriador – poscalentador, pasa por el lado contrario de este, ganando temperatura, para así salir del equipo con una temperatura cercana a la del ambiente.

Circuito de refrigerante:

El refrigerante sale del compresor como un gas a alta presión y alta temperatura, luego pasa al condensador donde es enfriado lo suficiente para que cambie a estado líquido, posteriormente pasa por la válvula de expansión donde disminuye radicalmente su presión, perdiendo temperatura, dicho líquido va entonces al evaporador, donde hay un intercambio de calor con el aire, retirándose una gran cantidad de calor de este, el cual es ganado por el refrigerante produciéndose un cambio de estado de líquido a vapor. Finalmente regresa al compresor dando inicio de nuevo al ciclo.

Partes

- Refrigerante
- Compresor de refrigeración
- Condensador
- Válvula de expansión
- Evaporador
- Separador Centrífugo
- Preenfriador y poscalentador de aire
- Válvula de expansión termostática
- Válvula bypass de gases calientes
- Válvula supercalentadora
- Subenfriador de líquido

Mantenimiento

El mantenimiento de estos equipos es complejo por que manejan muchos elementos, en caso de no tener catalogo del equipo seguir las indicaciones de mantenimiento recomendadas en para cada uno de las partes que conforman este equipo.

4.4.14. Regenerativos

Funcionan bajo un principio diferente que permite que alcancen puntos de rocío por debajo de 0 °C. Trabajan utilizando materiales desecantes, que son aquellos que tienen, la propiedad de adsorber agua, capacidad que se va perdiendo al irse saturando de esta, pero la cual pueden recuperar regenerándose, mediante diversos métodos, los cuales dependen del material desecante empleado, los principales métodos de regeneración son:

- Sin Calor
- Atmosférico
- Vacío
- Soplado
- Con Calor
- Calentadores internos
- Calentadores Externos
- Calor de compresión

4.5. Tanques de almacenamiento

Permite absorber las pulsaciones inherentes al sistema de compresión recíproca, a la vez que suministra una superficie grande de intercambio de calor que permite disminuir parcialmente la alta temperatura del aire luego de la

compresión. También absorbe sobre picos de consumo alto y de corta duración ocasionados por aplicaciones que requieren grandes cantidades de aire en lapsos cortos de tiempo; permitiendo de esta manera tener no tener un compresor sobredimensionado para satisfacer las demandas.

Mantenimiento

Revisar que la válvula de seguridad se abra a una presión un 20% mayor que la presión máxima del sistema y que tenga una capacidad de evacuación mayor a la de los compresores. Si no existe debe instalarse un manhole de inspección, un sistema de evacuación de condensado automático, un bypass para mantenimiento y un manómetro confiable. Algunas veces se colocan medidores de temperatura y doble manómetro (de reserva)

El principal aspecto es la seguridad, ya que estos elementos son bombas en potencia. Las rutinas de mantenimiento se deben realizar con adecuada periodicidad, verificándose el estado de los elementos de seguridad realizándose inclusive ensayos no destructivos tales como ultrasonido y radiografías para verificar el óptimo estado de los mismos.

El mantenimiento que se le realiza al tanque se limita a una limpieza interior en muy escasas ocasiones, además de la verificación constante de las purgas.

4.6. Unidades de mantenimiento

Este aditamento esta compuesto por un filtro de partículas de baja eficiencia, un regulador con manómetro y un lubricador; su función principales es la de acondicionar una corriente determinada para su uso en una maquina.

El filtro de partículas sirve para eliminar algunos contaminantes de tipo sólido, el regulador se encarga de disminuir la presión y el lubricador dosifica una cantidad requerida en algunas ocasiones por el equipo.

Figura 15. Unidad de Mantenimiento



Mantenimiento

El mantenimiento de las válvulas acondicionadoras de presión es de cierta manera más complejo que el del resto de elementos de la unidad. Dicho mantenimiento se basa en las pruebas de fuga de aire las cuales consisten principalmente en suministrarle aire a altas presiones al regulador por sus dos entradas. Si suministramos una alta presión sólo a la entrada del regulador, no debe fluir aire hacia la salida. Esto se comprueba palpando el ducto de salida

con el dedo húmedo. La otra prueba que se realiza es calibrando el resorte para una máxima presión de salida y suministrándole sólo aire a presión por la salida. Si esta es inferior a la máxima del resorte, no debería salir aire por el ducto opuesto de la válvula (la entrada).

Los niveles del lubricante deben mantenerse adecuadamente una o más veces por jornada. Es por eso que los operarios deben tener a su alcance lubricante suficiente. Si hubiera condensados de agua, se eliminan por el grifo de purga ya que el aceite es más ligero y flota sobre ella, por lo cual esta operación debería hacerse con regularidad, ya que si el nivel del agua alcanza el tubo de aspiración se produciría la pulverización del agua hacia la aplicación. En condiciones normales, la limpieza o eliminación de sedimentos cada seis meses suele ser suficiente.

4.7. Preparación y tratamiento del aire

En la práctica, la calidad del aire comprimido desempeña un papel primordial, tanto en algunas aplicaciones de producción propiamente dicha como por ejemplo el sector de alimentos, como en la parte del mantenimiento y conservación de los equipos y accesorios de la red de aire comprimido.

4.8. Impurezas

Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Mientras que la mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración, la separación fina, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación.

Para evitar las impurezas, se debe procurar un filtrado correcto del aire aspirado por el compresor, la utilización de compresores exentos de aceite es una buena alternativa.

Mantenimiento

Limpiar los filtros reutilizables y sustituir los desechables tanto en la aspiración como en la impulsión (pre y pos filtros).

Los filtros sucios incrementan el consumo energético y el consumo de aire.

4.9. Tratamiento de la humedad

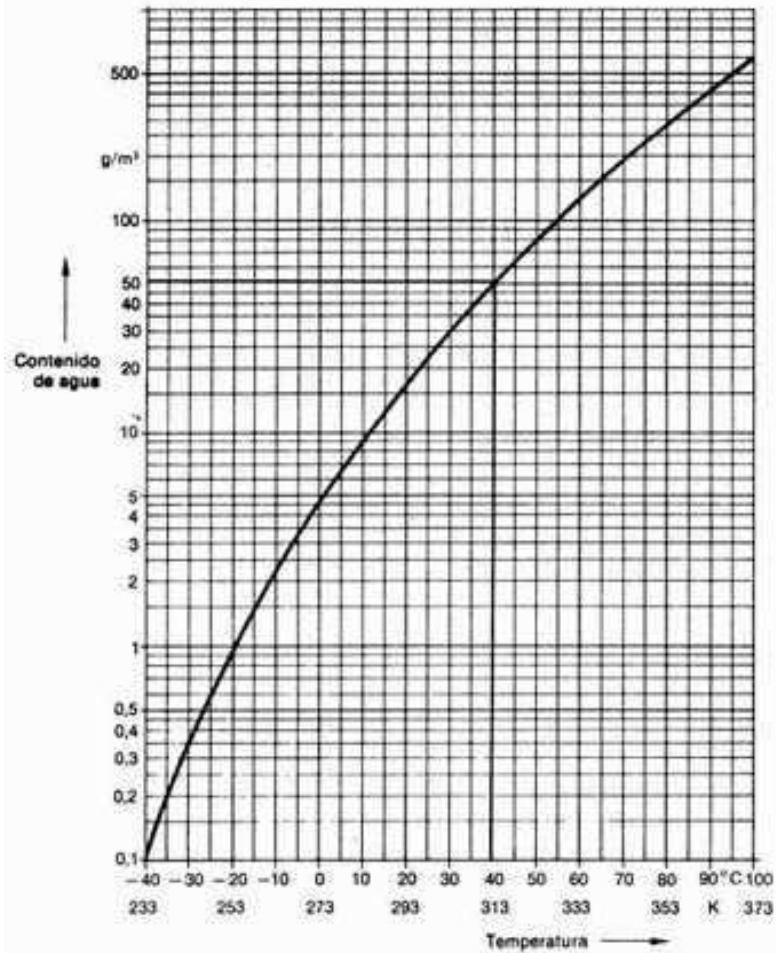
Hay que dedicar especial atención a la humedad que contiene el aire comprimido.

El agua (humedad) llega al interior de la red con el aire que aspira el compresor. La cantidad de humedad depende en primer lugar de la humedad relativa del aire, que -a su vez depende de la temperatura del aire y de las condiciones climatológicas.

La humedad absoluta es la cantidad de agua contenida en un m³ de aire. El grado de saturación es la cantidad de agua que un m³ de aire puede absorber, como máximo, a la temperatura considerada. La humedad es entonces del 100%, como máximo (temperatura del punto de rocío).

El diagrama de la Figura 16 se muestra la saturación del aire en función de la temperatura.

Figura 16. Características del punto de rocío



Mantenimiento

Comprobar los secadores de aire y controladores. El mantenimiento incorrecto de este sistema implica un incremento del consumo de energía que puede ascender hasta un 30%.

Si el aire comprimido contiene humedad, habrá de someterse a un secado el cual puede ser:

4.10. Secado por absorción

El secado por absorción es un procedimiento puramente químico. El aire comprimido pasa a través de un lecho de sustancias secantes. En cuanto el agua o vapor de agua entra en contacto con dicha sustancia, se combina químicamente con ésta y se desprende como mezcla de agua y sustancia secante.

En el procedimiento de absorción se distingue:

Instalación simple

Reducido desgaste mecánico, porque el secador no tiene piezas móviles

No necesita aportación de energía exterior

Mantenimiento

La mezcla de agua y sustancia secante tiene que ser eliminada regularmente del absorbedor. Ello se puede realizar manual o automáticamente. Con el tiempo se consume la sustancia secante, y debe suplirse en intervalos regulares (2 a 4 veces al año). Al mismo tiempo, en el secador por absorción se separan vapores y partículas de aceite. No obstante, las cantidades de aceite, si son grandes, influyen en el funcionamiento del secador. Por esto conviene montar un filtro fino delante de éste.

4.11. Secado por adsorción

Este principio se basa en un proceso físico. (Adsorber: Deposito de sustancias sobre la superficie de cuerpos sólidos.)

El material de secado es granuloso con cantos vivos o en forma de perlas. Se compone de casi un 100% de dióxido de silicio. En general se le da el nombre de Gel.

La misión del gel consiste en adsorber el agua y el vapor de agua. El aire comprimido húmedo se hace pasar a través del lecho de gel, que fija la humedad.

La capacidad adsorbente de un lecho de gel es naturalmente limitada. Si está saturado, se regenera de forma simple. A través del secador se sopla aire caliente, que absorbe la humedad del material de secado. El calor necesario para la regeneración puede aplicarse por medio de corriente eléctrica o también con aire comprimido caliente.

Disponiendo en paralelo dos secadores, se puede emplear uno para el secado del aire, mientras el otro se regenera (soplándolo con aire caliente).

4.12. Secado por enfriamiento

Los secadores de aire comprimido por enfriamiento se basan en el principio de una reducción de la temperatura del punto de rocío.

Se entiende por temperatura del punto de rocío aquella a la que hay que enfriar un gas, al objeto de que se condense el vapor de agua contenido. El aire comprimido a secar entra en el secador pasando primero por el llamado intercambiador de calor de aire-aire.

El aire caliente que entra en el secador se enfría mediante aire seco y frío proveniente del intercambiador de calor (vaporizador).

El condensador de aceite y agua se evacua del intercambiador de calor, a través del separador.

Este aire preenfriado pasa por el grupo frigorífico (vaporizador) y se enfría más hasta una temperatura de unos 274,7 K (1,7 °C) En este proceso se elimina por segunda vez el agua y aceite condensados.

Seguidamente se puede hacer pasar el aire comprimido por un filtro fino, al objeto de eliminar nuevamente partículas de suciedad.

Errores y recomendaciones

Errores

- Creer que se puede compensar la insuficiencia de caudal de aire de un compresor aumentando la capacidad de reserva de aire por medio de tanques. Estos tienen como función regular el caudal y evitar cambios bruscos en la presión. El uso de tanques solo es justificable cuando se necesita gran volumen de aire en un periodo de tiempo muy corto.
- Elevar la presión de trabajo para suplir la falta de aire de suministro. Esta aumenta un poco la reserva de aire pero a un costo en kW muy alto.
- Diseñar la tubería enterrada o subterránea sin que sea un caso especial.
- No ajustar herramientas ni inspeccionar constantemente la caída de presión. Fugas pequeñas son imperceptibles debido a que el aire es inodoro y no es visible.

Recomendaciones

- En el tendido de las tuberías debe cuidarse, sobre todo, de que la tubería tenga un descenso en el sentido de la corriente, del 1 al 2%. Así se evita que el agua condensada que posiblemente encuentre en la tubería principal llegue a través de las tomas. Para recoger y vaciar el agua

condensada se disponen tuberías especiales en la parte inferior de la principal.

- El cuarto de máquinas debe tener diferentes elementos aparte del compresor:

Las impurezas en forma de partículas de suciedad u óxido, residuos de aceite lubricante y humedad dan origen muchas veces a averías en las instalaciones neumáticas y a la destrucción de los elementos neumáticos. Mientras que la mayor separación del agua de condensación tiene lugar en el separador, después de la refrigeración, la separación fina, el filtrado y otros tratamientos del aire comprimido se efectúan en el puesto de aplicación.

Tabla VI. Mantenimiento de compresores de 100 y 200 HP.

| Acción | Parte | Horas operación | Diario | 1 Semana | 1 Mes | 3 Meses | 6 Meses | 1 Año | 2 Años |
|------------|--------------------------------|-----------------|--------|----------|-------|---------|---------|-------|--------|
| Inspección | Nivel de refrigerante (aceite) | 8 | X | | | | | | |
| Inspección | Temperatura de descarga (aire) | 8 | X | | | | | | |
| Inspección | Dif. Elemento separador | 8 | X | | | | | | |
| Inspección | Diferencial filtro de aire | 8 | X | | | | | | |
| Inspección | Diferencial filtro de aceite | 8 | X | | | | | | |
| Reemplazo | Filtro refrigerante* | 150 | | X | X | | | | |
| Chequeo | Sensor de temperatura | 1000 | | | | | | | |
| Reemplazo | Filtro refrigerante* | 2000 | | | | | X | | |
| Limpieza | Orificio de barrido | 4000 | | | | | | X | |
| Limpieza | Núcleo de refrigerador ** | 4000 | | | | | X | | |
| Reemplazo | Filtro de aire* | 4000 | | | | | | X | |
| Reemplazo | Elemento separador* | 4000 | | | | | | X | |
| Reemplazo | Refrigerante (aceite)* | 8000 | | | | | | | X |
| Inspección | Contactos arrancador | 8000 | | | | X | | X | |

* En ambientes de operación y en donde el filtro de aire de admisión se cambia a los intervalos prescritos arriba cuando el ambiente es demasiado sucio, hay que cambiar los elementos del separador. Los filtros y el refrigerante más frecuentemente.

** Limpie el núcleo del refrigerador si la temperatura del aire es excesiva o si el paro de la unidad ocurre por alta temperatura.

4.13. Mantenimiento de tuberías

La tubería que conduce el aire comprimido debe estar libre de fugas de partículas de polvo, humedad y aire, por eso se debe tener un plan de mantenimiento preventivo para el buen estado de las líneas de distribución de aire.

Las fugas de aire comprimido son provocadas por el mal acoplamiento de la tubería, por humedad, por mala colocación de válvulas y accesorios en la red, las fugas producen un bajo rendimiento en el sistema y pérdidas, las cuales son razonables hasta un 5% del compresor.

Para la eliminación de las fugas, deben revisarse todos los acoplamientos de tubería, válvulas y accesorios, por lo menos cada 3 meses.

Para la eliminación de las partículas extrañas, se deben limpiar el tubo en su interior, antes de ser conectado a la red de aire comprimido, ya que de lo contrario podría haber desperfectos en el sistema. El aire aspirado por un compresor contiene siempre una cierta cantidad de humedad, esta cantidad depende de la temperatura del aire y de la humedad relativa, ya que de lo contrario podría ocasionar daños a las máquinas y afectar los procesos de trabajo. El aire seco disminuye la corrosión que causa caídas de presión y fugas.

Tabla VII Pérdidas por fuga

| Diámetro del agujero | | Fuga Aire 100 psi | | Potencia Requerida | |
|----------------------|------|-------------------|-------|--------------------|--|
| mm. | Plg | P ³ /m | kW | HP | |
| 1 | 1/64 | 0.41 | 0.06 | 0.08 | |
| | 1/32 | 1.62 | 0.23 | 0.31 | |
| | | 2.58 | 0.37 | 0.50 | |
| | 1/16 | 6.50 | 0.97 | 1.3 | |
| 2 | | 10.40 | 1.50 | 2.0 | |
| 3 | | 23.20 | 3.36 | 4.5 | |
| | 1/8 | 26.00 | 3.88 | 5.2 | |
| 5 | | 66.00 | 9.85 | 13.00 | |
| | ¼ | 104.00 | 15.00 | 20.00 | |
| | 3/8 | 234.00 | 64.00 | 46.00 | |
| 10 | | 258.00 | 37.00 | 50.00 | |
| | ½ | 416.00 | 60.00 | 81.00 | |

4.14. Mantenimiento de válvulas y accesorios

Las válvulas y accesorios que se tendrán en la red de aire comprimido deberán contar con una revisión diaria, para que no se tengan fugas en las uniones de los accesorios y un mal abastecimiento de aire, debido a una válvula dañada, ya que esto lleva a altos costos de producción.

Es por esto que se deben revisar diariamente las válvulas y accesorios de toda la red de aire comprimido, para estar seguros que se encuentran en perfecto estado.

4.15. Medidas de seguridad

Con el fin de prevenir algún tipo de accidente en los distintos trabajos, ya sea en reparación, montaje y desmontaje de las líneas de aire comprimido, compresores y secadores de aire, a continuación se presentan algunas reglas que pueden ayudar a prevenirlos.

- Leer cuidadosamente las instrucciones contenidas en el manual del fabricante, tanto para compresores como para cualquier dispositivo.
- Antes de proceder a efectuar cualquier tipo de trabajo en los compresores, asegúrese que la energía eléctrica haya sido debidamente cortada y que el interruptor de corriente haya sido desconectado.
- Liberar perfectamente toda la presión del compresor y aíse la unidad de cualquier otra fuente de aire a presión.
- Utilice guantes, chaleco y mascarilla a la hora de hacer cualquier trabajo con soldadura eléctrica y autógena.
- El mantenimiento lo debe hacer el personal que esté debidamente capacitado, para ello debe contar con las herramientas adecuadas para éste fin.
- Mantener extintores en distintos puntos de la planta.

4.16. Cuide su red de aire comprimido

La cantidad correcta de aire, la calidad y la presión adecuada son factores determinantes para el buen rendimiento de las herramientas y para el buen aprovechamiento del aire comprimido. Por lo tanto, se debe inspeccionar la red de aire comprimido a intervalos adecuados.

- Mida la presión de las herramientas utilizadas en la red a mayor distancia del compresor. Anote el resultado.
Si la presión desciende cada vez que efectué una medición, tendrá que buscar la causa del hecho y tomar las medidas necesarias.
- Mida la fuga y anote el resultado. Tome las medidas necesarias si la fuga aumenta.
- Purgue diariamente los filtros, verifique si la purga automática funciona
- Limpie los filtros antes que éstos provoquen caídas de presión demasiado grandes.
- Mantenga el nivel adecuado de aceite en los lubricadores
- Verifique el secador de aire comprimido, válvulas, uniones y mangueras y corrija inmediatamente todos los defectos que encuentre.

Actualice los planos después de que la red de aire comprimido haya sido modificada en cualquier punto. Archive reportes diarios e instrucciones para que estos documentos estén disponibles cuando sea necesario.

CONCLUSIONES

1. Dependiendo de las necesidades que tenga la Escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería, se podrá plantear esta propuesta de una red de aire comprimido para satisfacer las diferentes demandas que posee ella en calidad de servicio.
2. Con el estudio de este trabajo, se puede llegar a la conclusión de que se necesita un compresor que posea las características que se encontraron en este trabajo, pero se hace el recordatorio que es propuesta, debido a que los consumos de cada laboratorio podrían variar debido a las modificaciones o cambios que puedan surgir en el futuro.
3. Con la capacitación de mecánicos y operadores de compresores, se podrá realizar un programa de mantenimiento preventivo adecuado a todo el sistema que incluye tubería y compresores, que nos permita tener la calidad y cantidad de aire comprimido.
4. Las medidas de seguridad que se presentan en este trabajo, deberán cumplirse en su totalidad para evitar algún tipo de accidente.

RECOMENDACIONES

1. Este trabajo fue realizado para definir la necesidad de aire comprimido, en los laboratorios de la escuela de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala; para obtener la presión de trabajo y el caudal de cada máquina o equipo que se va alimentar, son variables que hay que tomarlos en cuenta a la hora de determinar el diámetro de la tubería que se utilizará ya sea en línea general o en un ramal de alimentación, para evitar pérdidas de presión que conllevan a un mal diseño.
2. Esta propuesta de una red de aire comprimido para los laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica, puede ser la base para implementar un proyecto en dicha escuela, que sea financiado por algún organismo internacional relacionado al desarrollo tecnológico o mejoramiento de la enseñanza superior.
3. Que este trabajo de graduación sea utilizado para presentar a toda aquella persona, institución o empresa, que desee donar el equipo necesario para integrar la red de aire comprimido aquí diseñada.

BIBLIOGRAFÍA

- 1 BARRANCO GONZÁLEZ, Carlos Estuardo. Rediseño de la red de aire comprimido de la planta No. 2 de la Fábrica de Textiles del Lago, S.A. Tesis Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería, 2001, 68 pp.
- 2 BAUMEISTER T. y otros. Manual del ingeniero mecánico.
8ª. Edición, México: Editorial McGraw Hill 1987
2000 pp.
- 3 CARNICER ROYO, Enrique. Aire Comprimido
Madrid : Editorial Paraninfo, S.A. 1991, 209 pp.
- 4 ELONKA, Steve. Operación de plantas industriales.
2ª. Edición México: Editorial McGraw Hill 1988,
683 pp.
- 5 JUÁREZ Pizza, Pedro Antonio. Diseño de sistemas neumáticos
Tesis Ing. Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala,
Facultad de Ingeniería, 1979, 118 pp
- 6 MANUAL de operaciones e instrucciones de compresores,
Ingersoll – Rand, 1990. 125 pp.

ANEXOS



ASISTENCIA INDUSTRIAL

1a. CALLE 32-56 ZONA 7 COLONIA TOLEDO.

PBX: 2433-9459 2384-1900 / FAX: 2434-7431

www.asistenciaindustrial.com

asindus@gua.net

| | | | |
|---------------------|----------|---------------|------------|
| PROFORMA No. | 1 | Fecha: | 05/10/2005 |
|---------------------|----------|---------------|------------|

| | | | | | |
|---|-----------|--|----------------------|--------------------------------------|--|
| Nombre: Universidad de San Carlos de Guatemala. | | | | | |
| Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica | | | | Telefono: 24767816 | |
| Dirección: Edificio T7 Ciudad Universitaria, Zona 12. Guatemala, C.A. | | | | Fax: | |
| Atención: Ing. Carlos Anibal Chicojay Coloma./Coordinación de Laboratorios | | | | Vendedor: EDWIN ANIBAL GARCIA | |
| Tiempo de Entrega | Inmediata | <input checked="checked" type="checkbox"/> | Tiempo Oferta | Forma | <input type="checkbox"/> Pago |
| | ____ días | <input type="checkbox"/> | ____ días | <input type="checkbox"/> | |
| | | | | Contado | Transporte |
| | | | | Credito __ días | <input type="checkbox"/> Cliente <input checked="checked" type="checkbox"/> Asidus |

| Código | Cantidad | Descripción | Valor U. \$ | Valor Total \$ |
|--------|----------|---|-------------|----------------|
| | 3 | COMPRESORES INDUSTRIALES DE (TORNILLO) 100 HP, CAPACIDAD DE 447 CFM. COD. C-7347-0023 MARCA: (AIR) | \$45,000.00 | \$135,000.00 |
| | | COMPLEMENTOS IMPORTANTES: | | |
| | | * CHIMBO | | |
| | | * FILTRO CERAMICO, PASO UNO | | |
| | | * SECADOR DE AIRE | | |
| | | * FILTRO ABSORBIMIENTO, PASO DOS. | | |
| | | * FILTRO CARBONIACTIVO, PASO TRES. | | |
| | | * SEPARADOR DE AGUA, IMPORTANTE. | | |
| | | GARANTIA DE 1 AÑO. | | |
| | | SERVICIO Y REPUESTOS. | | |
| | | NOTA: DESPUES DE LA ORDEN DE COMPRA 45 DIAS DE ENTREGA, CON EL 60 % DE ANTICIPO Y EL 40 % CONTRA-ENTREGA. | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |



PRINDUSAT, S.A.

PRODUCTOS INDUSTRIALES Y ASESORIA TECNICA
15 Calle "A" 10-44, Col. Villas de Minerva
Zona 11 Mixco • Guatemala, C. A.
Telefax: 483-2857 • Tels.: 512-4922, 294-6172
E-mail: prindusat@latinmail.com

PEDIDO COTIZACION
Nº 005360

| DIA | MES | AÑO |
|---------------|-----|-------|
| GUATEMALA, 07 | 10 | 2,005 |

| NOMBRE: | <i>Universidad de San Carlos de Guatemala</i> | | NIT.: | |
|---|---|--------------------|---|------|
| DIRECCION: | <i>Ciudad</i> | | TELEFONO: | FAX: |
| ATENCION: | <i>Ing. Juan Carlos Anibal Chicojaj</i> | | VALIDEZ DE ESTA OFERTA: | |
| TRANSPORTE: | <i>Nuestro</i> | | VENDEDOR: <i>Luis Ventura</i> | |
| TIEMPO DE ENTREGA: INMEDIATA <input checked="" type="checkbox"/> 40 DIAS: <input checked="" type="checkbox"/> | | | CONDICIONES DE PAGO: CONTADO <input checked="" type="checkbox"/> CREDITO <input type="checkbox"/> DIAS: | |
| CANTIDAD | DESCRIPCION | PRECIO UNITARIO | TOTAL | |
| 3 | <i>(Compresores) de Tornillo de 90HP Industrial, profesional, con capacidad de 400 lpm marca Lini (cod. finetronic 00-407CA 9836) accesorios:</i> | <i>\$52,000.00</i> | <i>\$156,000.00</i> | |
| | <i>- filtros incluidos</i> | | | |
| | <i>- Refinbo seg. capacidad</i> | | | |
| | <i>- Elcadores de auro</i> | | | |
| | <i>- garantia y repuestos</i> | | | |
| | <i>(Tiempo de entrega: 40 dias)</i> | | | |
| | <i>(Forma de pago: Contado (estrictamente))</i> | | | |

NUESTROS SERVICIOS VAN DE LA MANO CON
NUESTRAS EXCELENTES MARCAS

TOTAL Q. *\$156,000.00*

STANLEY
 Herramienta profesional

BOSCH
 Herramienta eléctrica

ABRASIVOS
NORTON

HOBART
 Electrodo y Soldadoras

SOLDADORAS ESPECIALES

FANDELI
 LIJAS

METRON
 Manómetros y Termómetros

EQUIPOS DE PROTECCION INDUSTRIAL

Miller
 Máquinas Soldadoras

LINCOLN ELECTRIC
 Electrodo y Soldadoras

ELECTRODOS INFRA
 Convencionales y Microalambres

AIRE COMPRESORES
 Compresores de Aire

WURKER
 Herramientas Profesionales

Miller
 Máquinas Soldadoras

WELDER
 Equipos de Oxicoarte

SOLAR
 Cargador de Batería

**Fabrigas****GRAINGER**

| | | |
|-----------------------|----------------|-------|
| GUATEMALA, 07/10/2005 | Cotización No. | 18539 |
|-----------------------|----------------|-------|

| | | | |
|-----------|--|-------------------------------------|-----------|
| Cliente | UNIVERSIDAD DE SANCARLOS DE GUATEMALA. | | |
| Dirección | CIDUAD DE GUATEMALA | | |
| e-mail | | Fax | 2474-3145 |
| | Atención | ING. CARLOS ANIBAL CHICOJAY COLOMA. | |

Por este medio sometemos a su consideración la siguiente proforma.

COMPONENTES :

| CANT. | DESCRIPCIÓN | PRECIO U. \$. | TOTAL \$.U.S |
|-------|---|---------------|-------------------|
| 03 | <p>COMPRESORES INDUSTRIALES INGERSOLL-RAND, DE TORNILLO</p> <p>CON UNA DENSIDAD O CAPACIDAD DE 425 CFM DE 90 HP.</p> <p>MOD. I-R 84758494.</p> <p>COMPONENTES ADERIDOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • FILTROS DE AGUA. • CHIMBOS. • SECADORES. • TUBERÍA PARA ENSAMBLAR. | 63,200.00 | 189.600.00 |
| | | TOTAL \$.U.S. | 189,600.00 |

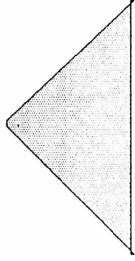
Forma de pago: CONTADO.
Validez de la oferta: 3 días

ATENTAMENTE,

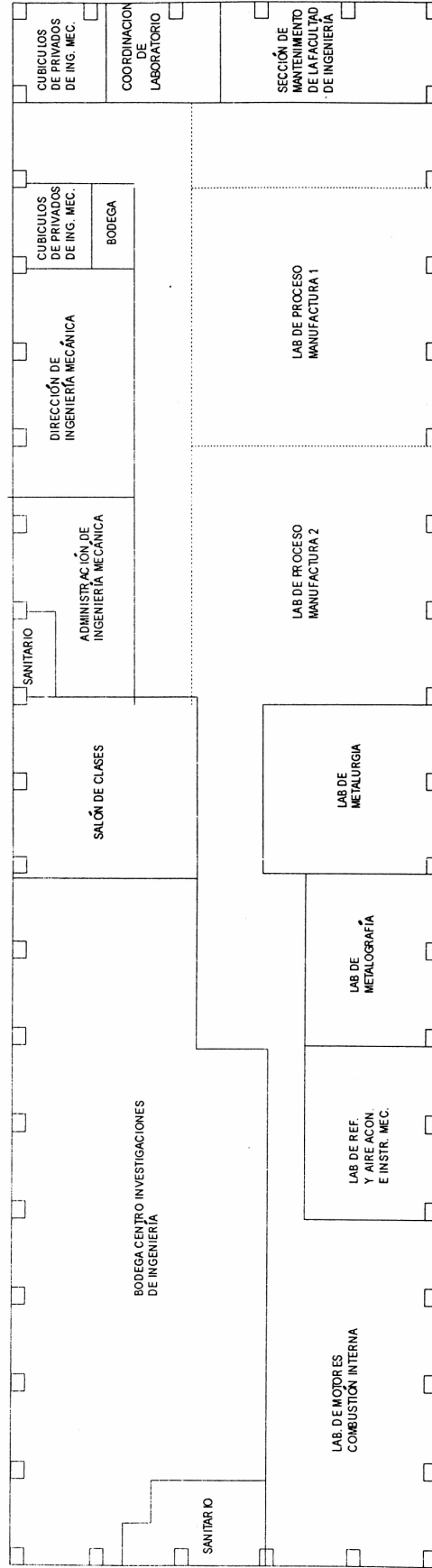
JORGE HERNANDES.
VENTAS MAQUINARIA Y HERRAMIENTA
FABRIGAS GUATEMALA
TEL (502) 24210444 FAX(502) 4409666
e-mail: grainger@fabrigas.com

41 CALLE 6-27 ZONA 8, 01008 GUATEMALA, C.A. TELEFONO PBX 716533 TELEX 5547 MAYAU GU FAX 720913

FACULTAD DE INGENIERÍA OCUPACIÓN DEL EDIFICIO T-7



NORTE



MODULACION ENTRE COLUMNAS
EN AMBOS SENTIDOS
3.5m