

SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO

APUNTES GENERALES

1 COMPRESORES

1.1 METODOS DE COMPRESIÓN DEL AIRE

1.1.1 Intermitentes (desplazamiento positivo)

- Atrapar aire, reducir volumen aumentando presión, evacuar el espacio de aire comprimido.
- Atrapar aire en espacios y transportarlos sin cambio de volumen, compresión por flujo reverso del lado de alta presión (descarga del compresor), desalojo del aire comprimido.

1.1.2 Continuos

- Compresión del aire mediante la impulsión del aire por rotores con alabes que se mueven a gran velocidad, entregándolo a difusores estacionarios donde la energía de velocidad se transforma en presión. Estos compresores se denominan dinámicos.
- Ingreso de gas mediante un chorro a muy alta velocidad (puede ser el mismo gas o vapor) para lograr una alta velocidad de la mezcla cuya energía cinética se transforma en presión en un difusor. Estos dispositivos se denominan eyectores.

1.2 TIPOS DE COMPRESORES

- Desplazamiento positivo (flujo intermitente):
 - Reciprocantes.
 - Rotatorios:

- Ø Aspas deslizantes.
 - Ø Pistón líquido.
 - Ø Lóbulos rectos.
 - Ø Lóbulos helicoidales.
-
- Flujo continuo
 - Eyectores
 - Dinámicos:
 - Ø Centrífugos
 - Ø Flujo axial
 - Ø Flujo mixto

1.3 PRINCIPIO DE OPERACION

1.3.1 Compresores reciprocantes

- Se inicia la compresión cuando el cilindro esta en su máximo volumen con el gas a la presión de succión (punto 1).
- Al reducirse el volumen del cilindro por el movimiento del embolo se eleva la presión algo por encima de la presión de descarga para abrir la válvula de descarga (punto 2), aun no ha terminado el recorrido.
- Se termina el recorrido de desalojo del aire comprimido a presión constante (punto 2 a punto 3) y queda un remanente de aire a presión por la holgura entre el embolo y la tapa del cilindro.
- Al egreso del embolo se cierra la válvula de descarga y disminuye la presión del gas remanente hasta que se abre la válvula de succión (punto 4).
- Se succiona gas a la presión de entrada al compresor (punto 4 a punto 1), para repetir el ciclo.

Para presiones de descarga elevadas se emplean dos etapas de compresión con el fin de ahorrar energía y de reducir la temperatura de descarga.

1.3.2 Compresores de paletas deslizantes

- No tienen válvulas de admisión ni de descarga.
- Tienen una abertura amplia en la zona de entrada del aire y una abertura pequeña en la descarga.
- La compresión del aire atrapado entre dos paletas es progresiva por la reducción de volumen entre la succión y la descarga.
- El paquete de aire comprimido siempre alcanza la presión de diseño en su recorrido dentro de la máquina.
- Para operación por debajo de la presión de diseño se presenta una fracción de pérdida de energía (triángulo indicado en el ciclo).

1.3.3 Compresores de dos lóbulos rectos

- El volumen entre cada lóbulo y la carcasa no cambia durante el giro, el aire atrapado en ese espacio aumenta su presión por un flujo de retroceso cuando dicho espacio se comunica con la descarga. Las aberturas no tienen válvulas.
- No hay contactos entre los lóbulos ni de estos con la carcasa. Se construyen con holguras muy pequeñas y tolerancias muy estrictas entre esos elementos. La rotación de los lóbulos se sincroniza mediante engranajes de alta precisión.
- No requieren lubricación.
- Hay que protegerlos del ingreso de polvo y de la entrada de aire muy caliente. Para ciertas aplicaciones requieren preenfriadores de aire y enfriadores del aceite de la caja de engranajes.
- Cada lóbulo hace la “entrega” de dos paquetes por revolución.

- Se pueden acoplar dos maquinas en serie para lograr un arreglo de dos etapas seleccionando sus dimensiones adecuadamente.
- El diagrama del ciclo de compresión teórico en el plano P-V es un rectángulo.

1.3.4 Compresores de lóbulos helicoidales o en espiral

- La compresión del aire se logra atrapando el aire entre dos rotores o “tornillos”, uno macho o principal, con cuatro lóbulos salientes en espiral y otro hembra con seis ranuras donde engranan los del eje principal, también en espiral. El aire se comprime progresivamente y avanza en sentido axial desde la succión a la descarga. El ciclo de compresión es como en los compresores de paletas deslizantes.

1.3.5 Compresores Dinámicos

- En estos equipos el gas adquiere velocidad y presión a través de los alabes móviles de un rotor girando a alta velocidad. Al abandonar el rotor, el gas entra en un dispositivo estático llamado difusor, que consta de una serie de alabes estacionarios, que transforman la mayor cantidad de energía cinética posible del gas, en cabeza de presión.
- Se denominan centrífugos, cuando el flujo de gas es radial y las transformaciones de energía sobre el gas, se logran por el efecto centrifugo de la rotación.
- En los axiales el flujo del gas es paralelo al eje del rotor.
- Los compresores mixtos reúnen características combinadas de los anteriores.
- Los compresores dinámicos son libres de aceite y los rodamientos se disponen exteriormente, lo que hace que el gas comprimido quede libre de posibles contaminaciones con grasas.

1.3.6 Compresores Centrífugos

- Constan básicamente de un rotor con alabes radiales o curvados hacia atrás, un difusor estático para recuperar energía cinética debida al vórtice, en cabeza de presión, y una evoluta colectora. Se construyen compresores multietapas de hasta diez rotores. A medida que el gas avanza los rotores, los difusores y los pasajes se van reduciendo y estrechando en la misma proporción que se comprime el gas.

1.3.7 Compresores Axiales

- En los axiales el flujo del gas es paralelo al eje del rotor. Usualmente consisten de múltiples rotores con alabes impulsores y etapas de alabes fijos entre los rotores que trabajan como difusores. Lográndose transformaciones de velocidad a presión en cada pareja rotor difusor.

1.4 SELECCIÓN DEL COMPRESOR

El tipo de aplicación determina el tipo de compresor. Para presiones muy elevadas (20.000 psig p e) solo se pueden lograr con compresores reciprocantes. Por otro lado para alto volumen (150.000 cfm) y presiones del orden de los 30 psig, solo se pueden lograr con unidades dinámicas radiales o axiales.

1.5 TIPO DE APLICACIÓN

Se dan dos grupos de aplicación del aire comprimido, uno es para propósitos de potencia y el otro es para gases de proceso en refinerías y plantas químicas. Los requerimientos para ambos grupos pueden variar sustancialmente, pero la selección del equipo debe regirse por criterios económicos.

1.6 COMPRESORES PARA AIRE

- Las presiones pueden llegar hasta 4000 psig . El rango mas usual es de 125 psig o menos. Para este ultimo rango, aplican los compresores reciprocantes, de tornillos y dinámicos, su selección depende en gran parte por la capacidad requerida. Además se deben considerar los siguientes aspectos:
 - **Requerimientos de Potencia:** el mejor es el axial, seguido del centrifugo y luego los de tornillos y pistones.
 - **Confiabilidad:** Todos lo tipos son confiables. Unidades de tamaño moderado requieren un “overhole” cada cinco anos mientras que las de trabajo pesado lo requieren pocas veces durante su vida útil.
 - Espacio disponible
 - **Fundaciones:** los compresores alternativos requieren aislamiento de vibraciones y en los de gran tamaño, requieren fundaciones especiales.
 - **Control de capacidad:** hay que considerar la variación en la demanda. Usualmente va desde cero hasta la máxima capacidad del compresor, dependiendo del tipo de compresor varia la eficiencia energética para asumir las condiciones cambiantes. El compresor reciprocante esta favorecido bajo este aspecto.
 - **Aire libre de aceite:** los que mas se adaptan son los de tornillo y los dinámicos. Existen construcciones especiales de reciprocantes libres de aceite. Los de aspas deslizantes quedan excluidos.
 - **Costo del aire:** el costo del aire comprimido es un rubro importante, al seleccionar un compresor siempre se debe evaluar este aspecto. El costo del compresor domina la inversión inicial de la instalación y su consumo de energía

durante su vida útil supera de lejos el valor del equipo. Esto significa que se justifica invertir mas en un equipo mas eficiente.

- **Recomendaciones especiales:**

- **Factor de carga:** aumenta en instalaciones pequeñas donde solo se tienen uno o dos compresores. El factor de carga se define, como la relación entre la demanda máxima medida, para las condiciones de operación mas exigentes, respecto a la capacidad nominal de generación del o los compresores. Este valor nunca debe ser 100% y se recomienda entre 50% y 80%, dependiendo del tamaño, tipo y cantidad de compresores de la instalación. Un factor de carga apropiado resulta en:
 1. Presión disponible mas uniforme, incluso en los periodos de demanda máxima.
 2. Periodos de enfriamiento de las unidades, especialmente importante para las que son enfriadas por aire.
 3. Disminución del mantenimiento.
 4. Capacidad de reserva disponible inmediata sin requerirse de inversiones inmediatas.
- **Multietapas:** Cualquier compresor enfriado por aire que entrega a mas de 80 psig, debe tener por lo menos dos etapas de compresión, excepto en equipos pequeños. Compresores de dos etapas entre 100 y 200 psig, suministran el aire en la descarga entre 55 C y 85 C, respecto a los de una sola etapa y para 100 psig ahorran entre el 10% y 15% de la energía. Los compresores para trabajo pesado, enfriados por agua operan normalmente a velocidades y temperaturas mas bajas y son mas eficientes que los enfriados por aire. Además reducen considerablemente los costos de mantenimiento.

Universalmente los compresores de mas de 125HP y presión de 100psig son de dos etapas.

- **Otros factores:**
 - El numero de maquinas debe impedir cualquier parada de planta por deficiencia del servicio. Hay que ponderar el costo de una parada de planta versus la adición de compresores o un posible sobredimensionamiento de esos equipos.
 - Sumario: aunque se han expuesto los aspectos mas relevantes para la selección del compresor, conviene consultar el fabricante del equipo, exponerle las condiciones especificas de la aplicación, para que este haga la mejor su mejor oferta.

2 SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO Y POTENCIA

2.1 INTRODUCCIÓN

El aire comprimido es la mayor fuente de potencia en la industria con múltiples ventajas. Es segura, económica, fácil de transmitir, y adaptable. Su aplicación es muy amplia para un gran numero de industrias. Algunas aplicaciones son practicante imposibles con otros medios energéticos. El costo del aire comprimido es relativamente económico frente a las ventajas y la productividad que representa. Por ejemplo el costo del aire comprimido mas el valor de los equipos en su vida útil en el caso de un taladro neumático representa cerca del 10% al 25% del costo total, el resto corresponde a salarios y administración. Aunque la dotación de sistemas de aire comprimido requieren de inversión de capital, esta se paga ampliamente con el incremento de la productividad.

2.2 COSTO REAL DEL AIRE COMPRIMIDO

El costo total del aire comprimido incluye varios aspectos

1. Costos fijos sobre la instalación, depreciación, impuestos y seguros.
2. Reparaciones.
3. Operación: mantenimiento, lubricación, agua de enfriamiento y,
4. Potencia (energía).

La proporción de estos costos son aproximadamente:

- Costos fijos y reparaciones : 25%
- Operación : 20%
- Energía : 55%

Los requerimientos de aire comprimido varían de una aplicación a otra. Es determinante establecer el factor de utilización de cada dispositivo y de cada operación. La demanda de aire comprimido se da en aire libre y esta dada en tablas sacadas de la experiencia. Los factores de uso van del 10% al 100%. Los fabricantes de compresores y de herramienta neumática proporcionan tablas confiables para definir consumos y factores de utilización.

Ocasionalmente se encuentran cargas que requieren de una cantidad enorme de aire durante poco tiempo. Estas situaciones ameritan un análisis cuidadoso, sobre la conveniencia de colocar un depósito acumulador, cerca del sitio de consumo, así se puede asumir el pico con una recarga del depósito en un tiempo prolongado.

Los cilindros se utilizan ampliamente en el accionamiento de dispositivos y máquinas automáticas. Aunque cada carrera requiere poco aire, la suma de todos en el tiempo puede significar un consumo apreciable. La velocidad de movimiento del cilindro influye en el consumo de aire. En cilindros lentos hay más tiempo para que la presión de la línea actúe plenamente sobre este.

Cuando el suministro de aire es una necesidad primordial, independiente del tamaño del sistema, se deben proporcionar dos compresores cada uno con capacidad de atender por lo menos $2/3$ de la demanda máxima.

Para determinar la capacidad de generación requerida, hay que hacer un inventario minucioso de todas las aplicaciones y los usuarios del servicio. Para el consumo de herramienta hay tablas pero lo más aconsejable es consultar los catálogos de los equipos o a sus fabricantes.

2.3 NUMERO Y UBICACIÓN DE LOS COMPRESORES

No se puede generalizar sobre el número de compresores requeridos para una instalación dada. La pregunta fundamental que ayuda en la decisión del número de compresores es : “¿ que pasa si se para un compresor ?”.

Hay dos posibilidades para la ubicación de los compresores. Una consiste en una sala centralizada con todos los compresores de la planta y la otra posibilidad consiste en tenerlos distribuidos a lo largo y ancho de la planta pudiendo estar interconectados o no.

La ventaja principal de la planta centralizada, esta en la posibilidad de poder usar unidades de mayor capacidad que son más eficientes, reduce el costo de supervisión y control de los equipos, así como la mano de obra para operación y mantenimiento. Además, se puede lograr un balance mejor entre capacidad instalada y demanda. Para que el esquema de planta centralizada funcione adecuadamente, el diseño de la red, debe ser muy bien realizado para no tener perdidas excesivas de presión en sitios alejados de la planta.

Para decidir la localización de la central de compresores se debe considerar:

- Debe estar cercana de los mayores consumidores.
- Las captaciones de aire deben ubicarse donde este sea lo mas frío posible, con la menor humedad relativa y exento de contaminantes. Por cada 3°C de enfriamiento aumenta un 1% la densidad del aire. Esto quiere decir que un aumento de 15°C disminuye en 5% la capacidad efectiva del compresor.

La principal ventaja de la descentralización es la flexibilidad. Es simple agregar unidades nuevas donde se requieren, con las tuberías que son relativamente cortas. Los sistemas descentralizados aumentan el consumo de energía, desfavorecen la relación capacidad instalada versus demanda y se incrementan los costos de mantenimiento.

2.4 EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN

La red de distribución debe suministrar el aire comprimido con una pérdida mínima para cualquier punto del sistema. Un sistema bien dimensionado en trazado y diámetros de las tubería debe garantizar una pérdida máxima del 5% para el punto mas alejado (en el sitio de la utilización del aire comprimido), respecto a la presión generada por el compresor.

La mayoría de los sistemas de distribución consisten en líneas principales, de las cuales se desprenden los ramales principales para atender las diferentes zonas de la fabrica. De las ramificaciones principales, se desprenden las líneas que alimentan los usuarios. La pérdida máxima permitida en el punto mas alejado de los ramales principales es del 2%, calculadas con el máximo flujo probable. Igualmente la pérdida para el punto mas alejado de las ramificaciones debe ser inferior o igual al 3% calculados con el máximo caudal esperado. La pérdida en las líneas de alimentación no

debe superar el 1% incluyendo las mangueras como ocurre en la herramienta neumáticas.

Para los ramales el flujo de diseño debe tomarse para la situación pico que está entre el 150% y el 175% del consumo promedio estimado. Los ramales secundarios que “bajan” el aire al nivel de los operarios deben dimensionarse para el consumo máximo considerando una simultaneidad extrema de usuarios.

Los esquemas de tuberías de distribución son:

- 1) Ramales con salidas a intervalos a todo lo largo del ramal. Estos ramales pueden presentar deficiencias en el servicio debido a sobrecarga por demasiadas salidas o extensión del ramal mismo. Una forma de corregir esto es reubicando el punto de alimentación de un extremo (condición inicial) al punto medio, prolongando la línea principal.
- 2) Cuando se tienen dos o mas ramales principales paralelos, conviene unirlos en sus extremos formando un anillos con salidas a intervalos en todo su perímetro, de esta manera las demandas elevadas en sitios alejados se pueden atender por dos vías, mejorando significativamente el desempeño de la red.
- 3) Conducciones largas que llevan el aire a un usuario específico ubicado en su extremo. Cuando el requerimiento de aire es muy elevado y en corto tiempo, se emplea un tanque acumulador para aliviar la demanda del sistema y no incurrir en pérdidas exageradas.
- 4) Usualmente se coloca un tanque acumulador en la sala de compresores o cerca de estos en sistemas descentralizados. También se colocan tanques acumuladores cerca de equipos que tienen consumos elevados en tiempos cortos y en zonas de la red donde pueden darse demandas elevadas en tiempos cortos debido a la simultaneidad.

2.5 SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS

Como regla básica el dimensionamiento de los tubos debe favorecer el criterio conservador. Si al dimensionar un diámetro el valor no coincide con los estándares, se recomienda colocar el diámetro inmediatamente superior. Esto conduce a tener un sistema donde el aire fluirá con menos pérdidas y se dispondrá de una reserva para aumentos de capacidad en el futuro.

2.6 IMPORTANCIA DE MANGUERAS APROPIADAS

En un sistema bien diseñado y mantenido, deben haber por lo menos 94 o 95 psig en el punto de conexión de las mangueras. La pérdida en la manguera por su longitud, diámetro y demanda de la herramienta, no debe exceder los 5psig. Esto merece especial cuidado porque puede ocurrir que la manguera se convierta en una limitante exagerada si no se selecciona adecuadamente, arruinando las bondades de todo el sistema (capacidad instalada en compresores y red de tuberías etc.). Igual cuidado hay que tener con la selección de los accesorios y racores. Hay que utilizar elementos de excelente calidad certificados, no solo para una buena operación sino por razones de seguridad.

2.7 IMPORTANCIA DE UNA PRESIÓN ADECUADA

Ya se mencionó que la presión de trabajo estándar para las herramienta neumáticas es de 90psig. Cuando este valor cae, igualmente ocurre con la eficiencia y rendimiento de esos dispositivos, mermándose la productividad de la fábrica. Por otro lado en el caso de equipos específicos, estos operan deficientemente.

En taladros neumáticos si estos operan a 70psig, su rendimiento es el 70% respecto a si son operados a 90psig. Para herramienta neumática se han realizado estudios en los EEUU obteniéndose el siguiente cuadro comparativo:

PRESIÓN EN LA HERRAMIENTA	70 psig	90psig
Costo del aire y depreciación de hetas y equipos (1)	5%	6.5%
Mano de obra y energía	95 %	83.3%
Costo total	100%	90%

(1) valores relativos a la operación con 70psig

(2) se aprecia una ventaja económica del 10%

Es evidente que todo el empeño que se dedique en el buen mantenimiento y monitoreo de la red de aire comprimido redundará en beneficios económicos inmediatos.

2.8 CAUSAS DE PRESIONES BAJAS

Hay tres causas primordiales en el siguiente orden de importancia:

- 1) Tuberías y mangueras inadecuadas.
- 2) Fugas excesivas.
- 3) Capacidad de generación insuficiente.

2.8.1 Tuberías y mangueras inadecuadas

La verificación de una red existente, requiere un monitoreo de las presiones desde el compresor hasta los sitios de uso mas alejados. Se recomienda analizar el sistema por zonas y verificar por separado las tuberías de las mangueras y demás elementos de los sitios de utilización del servicio. La pérdida de presión desde la salida de la sala de compresores, hasta los puntos mas alejados no debe exceder 5 a 6 psi. Al zonificar y llevar registros se pueden detectar los puntos desfavorables del sistema.

Para determinar las pérdidas en las mangueras de caucho utilizadas en herramientas se puede usar un manómetro acoplado a una aguja hipodérmica. La presión se debe medir para la máxima exigencia de la herramienta y la pérdida debe estar entre 4 y 5 psi.

2.8.2 Fugas

Este es un problema serio en muchas instalaciones. Esto se agrava porque a diferencia de otros sistemas de potencia como el eléctrico, el vapor y los hidráulicos, las fugas en aire comprimido no son peligrosas, no contaminan y pasan desapercibidas. Además, se puede trabajar con ellas presentes. En instalaciones descuidadas las pérdidas por fugas pueden ser del 20% al 30% y es común encontrar valores del 10% en cualquier sistema de aire comprimido. Un sistema bien mantenido puede reducir las fugas al 5% o menos.

Los escapes se localizan puntualmente y pueden ser pequeños, pero gran numero de estos propician un efecto acumulativo apreciable. Para el control de las fugas se recomienda :

- 1) Un programa de mantenimiento permanente sobre las empaquetaduras de las válvulas.
- 2) Reemplazo de válvulas de corte que presenten fugas por deterioro de estas.
- 3) Utilizar acoples de mangueras de muy buena calidad y en buen estado.
- 4) Reducir la presión en sistemas de soplado, al mínimo satisfactorio.
- 5) Usar mangueras de muy buena calidad para reducir quiebres y fugas en estas.
- 6) Controlar la humedad en el sistema, instalando separadores de condensados y drenajes para evitar el soplado de líneas para desalojar el agua. Esto no debe ocurrir en una instalación bien diseñada y bien mantenida.

Para adquirir una idea de que tan perjudiciales son las fugas, si se tiene un sistema a 100 psi, el volumen fugado dependiendo del tamaño del orificio se da a continuación:

Diámetro del orificio [mm]	Volumen fugado en un mes [m³]	Costo de la energía [\$ pesos] (1)
0.8	1290	200.000
1.6	5200	800.000
3.2	20600	3'140.000
6.4	82700	12'620.000

(1) : para 8000 horas al año a \$130/KWH

Para cuantificar las perdidas por fugas y si es posible se pueden cerrar todos los consumidores y registrar los tiempos de trabajo del compresor, se pueden medir flujos y observar las variaciones de presión en el tanque acumulador.

2.9 NECESIDAD DE AUMENTO DE CAPACIDAD

Para tomar la decisión de incrementar la capacidad de compresor(es) hay que hacer primero un seguimiento del uso del servicio en las horas pico, cuando las presiones caen por debajo de los valores aceptables. Se recomienda:

- Detectar y corregir las fugas.
- Detectar usos inapropiados del servicio y corregirlos.
- Tomar registros de los tiempos de trabajo de cada compresor y medir los flujos de aire.
- Con los registros de presiones y tiempos de operación de los compresores, se puede calcular la cantidad de aire libre demandado.

El promedio así calculado no corresponde a la demanda máxima, pero es una buena guía para determinar un valor confiable. Siempre que se va repotenciar el sistema de aire comprimido debe decidirse un margen de diseño para ampliaciones futuras. Por otro lado se debe revisar la red para verificar si los diámetros son suficientes y si se requieren modificaciones en la red.

2.10 HUMEDAD EN EL AIRE COMPRIMIDO

El aire que entra al compresor lleva consigo la humedad del ambiente. Esto es inevitable y la cantidad de humedad depende de las condiciones atmosféricas (elevación sobre el nivel del mar, temperatura de bulbo seco y humedad relativa). La humedad relativa es un indicador del grado de saturación del aire (El punto de saturación corresponde a la mayor cantidad de vapor de agua en el aire, por encima de ese estado, la mezcla de aire no puede “alojar” mas agua en estado de vapor y se presenta condensación).

Solo para humedades relativas del 100% el vapor de agua se encuentra en estado saturado a las condiciones de la temperatura de bulbo seco y a la presión parcial del vapor en la mezcla de gases que es el aire (Nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, vapor de agua y otros). Para humedades relativas menores el vapor de agua se encuentra en estado “sobre calentado”, esto significa simplemente que para alcanzar el punto de saturación (humedad relativa del 100%) hay que enfriar el aire, descendiendo la temperatura a medida que la humedad relativa baja.

Cuando el aire admitido por el compresor se comprime, su volumen se reduce notablemente y aumenta dramáticamente su temperatura y el vapor de agua alcanza un estado de sobrecalentamiento apreciable. Cuando el aire se enfría, mientras permanece en el tanque acumulador y al ser impulsado por el sistema, el vapor de agua deja de ser sobrecalentado, alcanzando el punto de saturación y condensándose. Esto, porque a las presiones elevadas que se dan en los sistemas de aire comprimido, las temperaturas de saturación para las cantidades de agua que entran en el sistema, suelen ser mayores que las del ambiente que rodea los tubos de distribución. Siendo esta la explicación termodinámica de la presencia de agua en los sistemas de aire comprimido, cuando no se practica el debido secado del aire suministrado por el compresor.

2.10.1 Problemas causados por el agua en el aire comprimido

Los problemas mas comunes son:

- Lavado de lubricantes requeridos en actuadores.
- Aumento del desgaste y del mantenimiento.
- “Sluggish” y operación inconsistente de válvulas y cilindros.
- Funcionamiento defectuoso y aumento del mantenimiento en la instrumentación.

- Daños en la producción en procesos de pintura y otros tipos de atomizaciones.
- Oxidación de partes que han sido tratadas con “sand blasting”.
- Taponamiento de líneas por congelamiento del agua cuando se tienen tubos expuestos a temperaturas menores de cero grados centígrados.
- Congelamiento de micro gotas de agua en los exostos de herramientas de alto rendimiento, perjudicando su desempeño.
- Condensación en el transporte neumático de productos.

El incremento en la automatización de las plantas ha obligado mayores exigencias en el secado del aire comprimido.

Hay que aclarar que el vapor de agua no implica ningún problema en el sistema de aire comprimido, mientras no se llegue al estado de saturación y condensación con permanencia del condensado dentro del sistema.

El objetivo primordial es remover la cantidad de agua suficiente, para asegurar que no se va a presentar condensación en ningún sitio del sistema, ni en la red de distribución, ni en los equipos y elementos donde se utilice el servicio.

2.11 EL SISTEMA BÁSICO

Los compresores de dos etapas enfriados por aire disponen de un enfriador entre ambas etapas, no obstante el enfriamiento no es lo suficiente para propiciar condensación del agua, el vapor de agua en esos sitios todavía está en estado sobrecalentado.

En los compresores enfriados por agua la temperatura en el enfriador intermedio baja a niveles que propician condensación, por lo que estas máquinas cuentan con sistemas de remoción del agua generada. Las trampas automáticas son las de mayor aplicación.

Todas las plantas de generación de aire comprimido deben incluir un enfriador posterior al compresor (“after cooler”), previo al depósito acumulador. Se dan algunas excepciones respecto a este esquema en algunas aplicaciones especiales. En el transporte neumático del cemento para la descarga de cisternas, en el transporte de finos de mineral de níquel, no se requiere el post enfriador ni el secado del aire comprimido por ejemplo. Los enfriadores intermedios y los post enfriadores, pueden remover hasta el 70% de la humedad que ingresa al sistema, Esta humedad se colecta principalmente en el tanque receptor, el cual debe dotarse con un drenaje automático. Inevitablemente, ocurrirá una condensación adicional en el sistema, por el enfriamiento adicional que experimenta el aire en su recorrido hacia los sitios de consumo. Esta humedad remanente debe ser removida hasta un nivel seguro para evitar los problemas antes mencionados. Para lograr esto se tienen las siguientes opciones:

- 1) Las tomas de los ramales para los usuarios deben hacerse por encima de la línea principal.
- 2) Dar una leve inclinación en los ramales principales.
- 3) Colocar “piernas” de drenaje al final de los tramos inclinados, dotados con drenajes automáticos y válvulas manuales de chequeo.
- 4) Incorporar filtros y lubricadores en todos los sitios previos a las aplicaciones como herramientas y actuadores (cilindros, motores neumáticos, etc.).

La temperatura del aire al salir del post enfriador depende del suministro de agua de enfriamiento y no siempre es satisfactoria. Esto hace que el aire no enfrié lo suficiente y no se logre el grado de condensación deseado. Esto se agrava cuando las condiciones de temperatura y humedad relativas ambientes son altas.

De todos modos, este tipo de sistemas operan con el vapor de agua en un nivel de saturación que no es lo mas deseable y no se puede garantizar la abolición completa de los problemas causados por alguna presencia de agua en el sistema.

2.11.1 Sistemas con secado de aire.

En estos sistemas, el aire se somete a un proceso de secado posterior al postenfriador y al tanque acumulador. El secado adicional del aire, requiere equipos costosos y costos adicionales de mantenimiento y consumo de energía, razón por la cual se deben instalar solo cuando el balance de costo beneficio es favorable. Estos sistemas se pueden justificar por:

- Reducción del desgaste y costos de mantenimiento en herramienta y dispositivo accionados con aire comprimido.
- Mejor funcionamiento y confiabilidad en los dispositivos de regulación y control.
- Aumento en la productividad por el mejor funcionamiento de los sistemas de control y por la reducción de los imperfectos y paradas por mantenimiento.
- Mayor productividad por la limpieza del aire que evita daños en la producción, reduciéndose los rechazos. Esto es crítico en las plantas de pintura de vehículos y electrodomésticos y en la producción de alimentos.

El grado de secado depende de cada exigencia del proceso en consideración y de las condiciones del aire succionado por los compresores.

El rango típico del punto de rocío para sistemas a 100 psig está entre 1.7 °C y 9.6°C.

3 COMPARATIVO ENTRE TUBERÍAS DE ACERO CARBONO Y ALUMINIO PARA SISTEMAS DE POCA CAPACIDAD

Esto aplica solo para redes con diámetros máximos de 2" (sistemas relativamente pequeños).

3.1 RED EN ACERO CARBONO

La instalación de la red de aire comprimido en este material tiene las siguientes características:

- Costo inicial de montaje menor.
- Arrastre de partículas de óxido que pueden afectar las unidades de mantenimiento y las herramientas neumáticas.
- Poca flexibilidad para realizar modificaciones de la red.

3.2 RED EN ALUMINIO

La instalación de la red de aire comprimido en este material tiene las siguientes características:

- Costo mayor en la instalación inicial (entre un 30% y 40% adicional).
- Buena calidad en el aire dado que no existe el arrastre de partículas de óxido.

- La instalación se puede hacer de forma modular y en un tiempo menor a la de acero carbono.
- Es flexible, fácil de modificar.

Inicialmente la tubería de aluminio requiere una inversión inicial mayor pero a su vez en el tiempo es más duradera, y tiene un costo de operación menor por las siguientes razones:

- Se disminuyen los costos de mantenimiento de los equipos neumáticos, por el uso de aire libre de partículas de óxido.
- Se aumenta la productividad por reducción de paros debido a reparaciones y mantenimiento de equipos (herramientas)
- Reduce tiempos de parada y se facilitan las modificaciones del sistema

4 APUNTES VARIOS

- La captación del aire de succión del compresor debe estar al menos 3m por arriba de piso, para minimizar la aspiración de polvo.
- Todas las descargas de los drenajes de condensados deben ser visibles.
- El punto de rocío del aire seco, debe estar 10°C por debajo de la temperatura mínima en torno a la red.
- Se recomienda la instalación del secador posterior al tanque de acumulación posterior al compresor.
- Siempre debe haber un postenfriador (aftercooler) en la descarga del compresor en sistemas que tienen secadores de aire.
- La pérdida típica para un conjunto ((filtro estandar de partículas + secador + filtro de alta eficiencia + filtro de carbón activado) está entre 8.5 y 11 psi. Cuando los filtros están sucios la pérdida puede subir a

22 psi. Un análisis de la influencia de este incremento en la pérdida, en términos de costos y productividad, puede decidir el cambio de elementos filtrantes, a un valor menor de los 10 psi.

- Para los secadores por refrigeración se tiene:
 - Disminuyen su capacidad cuando aumenta la temperatura del aire de ventilación para el enfriamiento del condensador.
 - Para compresores enfriados por aire con temperaturas del aire mayores de 40°C , hay que agregar un postenfriador para garantizar que el aire que va al secador por refrigeración no esté demasiado caliente.
 - Aumentan su capacidad a presiones mayores-
- Verificar que los ductos de ingreso del aire al compresor, así como los de salida (calientes) para compresores enfriados por aire, cumplan los siguientes requisitos:
 - Evitar mas de dos codos.
 - Evitar velocidades mayores a 1000 fpm (5m/s).
 - Asegurar que no se establezca un cortocircuito del aire caliente expulsado por el equipo con el aire aspirado.
 - Si las conducciones son largas, estrechas y con muchos codos hay que colocar ventiladores.
 - Seguir las recomendaciones del proveedor del equipo.
 - Evitar posible ingreso de agua lluvia.
 - Instalar filtros o separadores de polvo, en ambientes muy polvosos, para aminorar la carga en los filtros del compresor.
 - Cuando las pérdidas en los ductos de ingreso y salida de aire pasa los 3mm ca, hay que colocar ventilación forzada.
- Instalar separadores de aceite posteriores a los drenajes de condensados.
- Colocar válvula de seguridad en los tanques de acumulación, los cuales deben ser estampe ASME.

- Si la red pasa por sitios criogénicos deben tomarse las precauciones correspondientes para evitar formación de hielo en el interior del tubo que lo puede obstruir.
- Colocar válvulas de corte y “by pass” en secador y filtros.
- Los filtros de aplicación general retienen partículas hasta 1 micra y contenido de aceite residual hasta 0.5 mg/m³.
- Los filtros de rendimiento elevado atrapan partículas hasta 0.01 micra y contenido de aceite residual hasta 0.015 mg/m³. Cuando se emplean hay que instalar uno de aplicación general aguas arriba. Si se requiere control de olores se debe agregar un filtro de carbón activado posterior el de alto rendimiento.
- Se deben colocar manómetros de presión diferencial en los filtros para verificar el grado de ensuciamiento.
- Los compresores de tornillo no requieren fundaciones ni anclajes especiales, solo capacidad portante del piso y nivelación.
- Los filtros de admisión del aire en compresores de tornillo deben retener partículas hasta de 3 micras, con una eficiencia del 99,9%.
- El contenido típico de aceite en el aire suministrado por un compresor de tornillo con aceite en sus elementos de compresión no debe superar 3ppm.
- Se recomienda que el aceite del compresor tenga un sistema de control de temperatura para garantizar una vida prolongada. Si la temperatura es muy baja el condensado puede deteriorar las propiedades del aceite y si es muy alta se acelera su oxidación. Para cumplir esta función el circuito de aceite debe dotarse de una válvula de regulación termostática.
- La capacidad volumétrica de los filtros aumenta con la presión.
- El consumo de potencia específica típico para un secador por refrigeración se da en la siguiente tabla para 100 psig:

Capacidad [ICFM]	Potencia específica [kW/(ICFM)]
10	0.027
50	0.011
200	0.006
500	0.005
1000	0.0047
2000	0.0041
3000	0.0034

- Compresores pequeños (15 a 100 ICFM) de pistones de dos etapas, para 175 psig, tienen potencias específicas (instaladas) cercanas a 0.3 HP/ICFM. Estos compresores tienen una eficiencia global del 97%, respecto a una teórica adiabática, para una etapa.

TABLA DE CONTENIDO

<u>1</u>	<u>COMPRESORES</u>	2
<u>1.1</u>	<u>METODOS DE COMPRESIÓN DEL AIRE</u>	2
<u>1.1.1</u>	<u>Intermitentes (desplazamiento positivo)</u>	2
<u>1.1.2</u>	<u>Continuos</u>	2
<u>1.2</u>	<u>TIPOS DE COMPRESORES</u>	2
<u>1.3</u>	<u>PRINCIPIO DE OPERACION</u>	3
<u>1.3.1</u>	<u>Compresores reciprocantes</u>	3
<u>1.3.2</u>	<u>Compresores de paletas deslizantes</u>	4
<u>1.3.3</u>	<u>Compresores de dos lóbulos rectos</u>	4
<u>1.3.4</u>	<u>Compresores de lóbulos helicoidales o en espiral</u>	5
<u>1.3.5</u>	<u>Compresores Dinámicos</u>	5
<u>1.3.6</u>	<u>Compresores Centrífugos</u>	6
<u>1.3.7</u>	<u>Compresores Axiales</u>	6
<u>1.4</u>	<u>SELECCIÓN DEL COMPRESOR</u>	6
<u>1.5</u>	<u>TIPO DE APLICACIÓN</u>	6
<u>1.6</u>	<u>COMPRESORES PARA AIRE</u>	7
<u>2</u>	<u>SISTEMAS DE AIRE COMPRIMIDO Y POTENCIA</u>	9
<u>2.1</u>	<u>INTRODUCCIÓN</u>	9
<u>2.2</u>	<u>COSTO REAL DEL AIRE COMPRIMIDO</u>	10
<u>2.3</u>	<u>NUMERO Y UBICACIÓN DE LOS COMPRESORES</u>	11
<u>2.4</u>	<u>EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN</u>	12
<u>2.5</u>	<u>SELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS TUBERÍAS</u>	14
<u>2.6</u>	<u>IMPORTANCIA DE MANGUERAS APROPIADAS</u>	14
<u>2.7</u>	<u>IMPORTANCIA DE UNA PRESIÓN ADECUADA</u>	14
<u>2.8</u>	<u>CAUSAS DE PRESIONES BAJAS</u>	15
<u>2.8.1</u>	<u>Tuberías y mangueras inadecuadas</u>	16
<u>2.8.2</u>	<u>Fugas</u>	16
<u>2.9</u>	<u>NECESIDAD DE AUMENTO DE CAPACIDAD</u>	18

2.10	<u>HUMEDAD EN EL AIRE COMPRIMIDO</u>	18
2.10.1	<u>Problemas causados por el agua en el aire comprimido</u>	19
2.11	<u>EL SISTEMA BÁSICO</u>	20
2.11.1	<u>Sistemas con secado de aire.</u>	22
3	<u>COMPARATIVO ENTRE TUBERÍAS DE ACERO CARBONO Y ALUMINIO PARA SISTEMAS DE POCA CAPACIDAD</u>	23
3.1	<u>RED EN ACERO CARBONO</u>	23
3.2	<u>RED EN ALUMINIO</u>	23
4	<u>APUNTES VARIOS</u>	24

SEMINARIO

**SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO
APUNTES GENERALES**

PRESENTADO A:

**CENTRO NACIONAL DE
PRODUCCIÓN MAS LIMPIA**

ELABORADO POR:



INDISA S.A.
INGENIERIA DE PROYECTOS

MEDELLÍN, JULIO DE 2002

Medellín, 02 de julio de 2002

AV-CI-24341-06-02

Ingeniero
RICARDO MARQUEZ
Director de Proyectos
CENTRO NACIONAL DE PRODUCCIÓN
MAS LIMPIA
Medellín

Cordial saludo:

Estamos haciendo entrega del CD con las 242 diapositivas en power point y los apuntes generales correspondientes al seminario sobre "AIRE COMPRIMIDO", a dictarse en julio próximo.

Agradeceríamos su colaboración con la impresión de los acetatos para dicha presentación, dejamos a su criterio cuales deben ser impresas a color.

Cualquier inquietud al respecto con gusto la atenderemos.

Atentamente,

ALONSO VELEZ COVO
Ingeniero Asesor

Mónica M.