
Guía para Ahorrar Energía en Sistemas de Aire Comprimido

Contenido

1	Introducción.....	4
2	Principios básicos.....	5
2.1	Tipos de Compresores.....	5
2.1.1	Compresores de desplazamiento positivo.....	5
2.1.2	Compresores dinámicos.....	7
2.2	El sistema de aire comprimido.....	8
3	Determine sus necesidades.....	9
3.1	La calidad del aire.....	9
3.2	Cantidad de aire (capacidad).....	10
3.3	Nivel de presión requerido.....	11
4	Evite usos inapropiados.....	12
5	Localice y elimine fugas.....	13
5.1	Aspectos generales.....	13
5.2	Determine el nivel de fugas de su sistema.....	13
5.3	Localice las fugas.....	14
5.4	Elimine las fugas encontradas.....	14
5.5	Defina un programa preventivo de fugas.....	14
6	Minimice las caídas de presión.....	16
6.1	Aspectos generales.....	16
6.2	Determine qué causa una alta caída de presión.....	16
7	Controle la presión en el sistema.....	18
7.1	Aspectos generales.....	18
7.2	Reducción de la presión en el sistema de distribución.....	18
7.3	Reducción de la presión en el sistema de compresión.....	18
7.4	Ventajas de reducir la presión en el sistema.....	19
8	Defina una estrategia de control.....	20
8.1	Aspectos generales.....	20
8.2	Esquemas individuales de control en compresores.....	21
8.2.1	Prendido / Apagado (on/off o start/stop).....	21
8.2.2	Carga / Sin-Carga (load/unload).....	21
8.2.3	Moduladores (modulating controls).....	21
8.2.4	Pasos Múltiples o Carga Parcial (part-load).....	21
8.2.5	Variadores de Frecuencia (VFD).....	22
8.3	Estrategias de control para sistemas múltiples.....	22
8.3.1	Secuenciadores (control maestro simple o single master).....	22
8.3.2	Controles en Red (control multi-maestro o multi-master).....	22
8.3.3	Controladores de flujo.....	23
8.3.4	Almacenamiento (tanques pulmón).....	23
9	Recupere calor del sistema.....	24
9.1	Recuperación de calor para calentamiento de aire.....	24

9.2	Recuperación del calor para calentamiento agua	25
10	De mantenimiento al sistema.....	26
10.1	Listado básico de mantenimiento para un sistema de aire comprimido.....	26
10.2	Generalidades	27
11	Busque otras oportunidades de mejora	29
11.1	Compresores	29
11.1.1	Compresores reciprocantes de una y dos etapas.....	29
11.1.2	Compresores rotativos de desplazamiento positivo.....	29
11.1.3	Compresores libres de aceite.....	29
11.1.4	Compresores centrífugos.....	30
11.2	Motores.....	30
11.3	Controladores	30
11.4	Equipos para tratamiento de aire y otros accesorios	30
11.5	Subsistema de distribución de aire	32
12	Realice un diagnóstico energético.....	33
12.1	Aspectos generales.....	33
12.2	Aspectos importantes de un diagnóstico básico	33
12.2.1	Nivel de tratamiento del aire.....	33
12.2.2	Fugas y niveles de presión.....	34
12.2.3	Controladores.....	34
12.2.4	Recuperación de calor.....	34
12.3	Trabajos a realizar del lado de la demanda.....	34
12.3.1	Sistema de distribución.....	34
12.3.2	Perfil de la carga.....	34
12.3.3	Equipos finales.....	34
12.4	Trabajos a realizar del lado del suministro	35
12.4.1	Sistema de compresión.....	35
12.4.2	Filtros.....	35
12.4.3	Post-enfriadores y separadores.....	35
12.4.4	Trampas automáticos.....	35
12.4.5	Tanques pulmón.....	35
12.5	Otros.....	35
13	Referencias	36

1 Introducción

El aire comprimido es uno de los servicios que con frecuencia utilizan las Industrias. Es versátil y seguro; se emplea como un fluido de limpieza, refrigerante, elemento transportador, activador de herramientas neumáticas y de diversos sistemas de control; además, puede mezclarse con varios productos y resulta indispensable en infinidad de maquinaria. En la actualidad, muchos procesos robotizados no se conciben sin este importante recurso.

Se usa en forma intensiva en la pequeña y mediana empresa, principalmente en los sectores industriales de alimentos, textil, del vestido, maderera, mueblera, papelería, química y del plástico, entre otros.

Sin embargo, su costo generalmente no se asocia a los costos de producción, a pesar de que utiliza, sin lugar a dudas, una cantidad sumamente significativa de energía, por lo que llega a ser mucho más caro que la electricidad, el gas y, en algunos casos, que el agua.

Típicamente, un sistema de aire comprimido, con una vida promedio de 10 a 15 años, divide sus gastos en un 83% de electricidad, 13% en inversiones de capital y 4% en mantenimiento

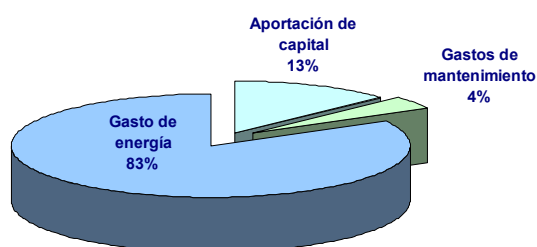


Figura 1 Gastos en una instalación de aire comprimido

A diferencia de otros servicios, el aire comprimido se genera directamente en las instalaciones del usuario, esto permite tener elementos de control para su adecuada utilización.

El entender y poner especial atención a la forma en que operan estos sistemas, permite identificar y aprovechar una serie de oportunidades para incrementar su desempeño, hacer un uso eficiente de la energía, aumentar la calidad, la productividad y, por ende, la competitividad de nuestra empresa.

Para coadyuvar al uso eficiente de la energía en sistemas de aire comprimido, la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE) ha elaborado la presente guía; parte de ella está basada en la información publicada por el Departamento de Energía de Estados Unidos (*U.S. Department of Energy, DOE*¹). Esperamos que la guía le sea de utilidad a los usuarios de la pequeña y mediana empresa y permita apoyar en la identificación de oportunidades de ahorro de energía en estos sistemas

2 Principios básicos

El aire del ambiente es, por así decirlo, la materia prima en los sistemas de aire comprimido. Está compuesto básicamente de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), argón (0.9%) y trazas (0.1%) de bióxido de carbono, neón, helio y kriptón; físicamente es inodoro, incoloro y no tiene sabor.

El aire comprimido no es otra cosa que el mismo aire del ambiente atrapado en un mecanismo donde se incrementa su presión -por la reducción del volumen- a través de un proceso mecánico. La máquina que realiza este trabajo es conocida como compresor, del cual existen básicamente dos tipos: los compresores de desplazamiento positivo y los compresores dinámicos.

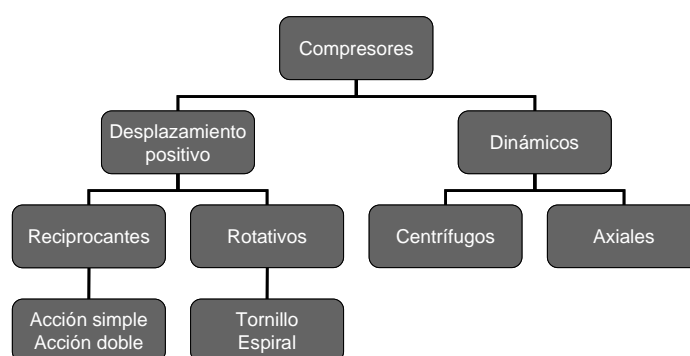


Figura 2. Tipos de compresores

En los compresores de desplazamiento positivo, se aumenta la presión de un volumen determinado de gas mediante la reducción de su volumen inicial. La compresión se verifica por el movimiento de vaivén de un embolo encerrado en un cilindro

En un compresor dinámico, el aumento de presión se obtiene aplicando a un flujo de gas, cierta velocidad (o energía cinética), que se convierte en presión al desacelerar el gas, cuando éste pasa a través de un difusor.

2.1 Tipos de Compresores

2.1.1 Compresores de desplazamiento positivo.

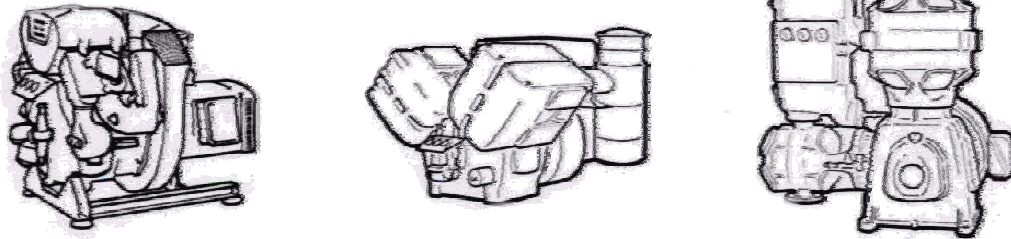
Los tipos de desplazamiento positivo son de dos categorías básicas: Reciprocantes y Rotatorias. El compresor reciprocante tiene uno o más cilindros en los cuales hay un pistón o embolo de movimiento alternativo que desplaza un volumen positivo en cada carrera. Los rotatorios incluyen los tipos de lóbulos, espiral, aspas o paletas y anillo de líquido. Cada uno con una carcasa, o con más elementos rotatorios que se acoplan entre sí, como los lóbulos o las espirales, o desplazan un volumen fijo en cada rotación.

1. Compresores reciprocantes o alternativos.

Abarcan desde una capacidad muy pequeña hasta unos 3000 PCMS. Para equipo de procesos, por lo general, no se utilizan mucho los tamaños grandes y se prefieren los centrífugos. Si hay alta presión y un gasto más bien

bajo, se necesitan los reciprocantes. El número de etapas o cilindros se debe seleccionar con relación a las temperaturas de descarga, tamaño disponible para los cilindros y carga en el cuerpo o biela del compresor.

Los tamaños más bien pequeños, hasta unos 100 hp, pueden tener cilindros de acción sencilla, enfriamiento con aire, y se pueden permitir que los valores de aceite en el depósito se mezclen con el aire o gas comprimidos. Estos tipos sólo son deseables en diseños especiales modificados.



Compresores de pistón. Fuente: www.geocities.com ²

Los tipos pequeños para procesos, de un cilindro y 25 o 200 hp, tienen enfriamiento por agua, pistón de doble acción, prensaestopas separado que permite fugas controladas y pueden ser del tipo no lubricado, en el cual el lubricante no toca el aire o gas comprimido. Se utilizan para aire para instrumentos o en aplicaciones pequeñas para gas de proceso.

Los compresores más grandes para aire o gas son de dos o más cilindros. En casi todas las instalaciones, los cilindros se disponen en forma horizontal y en serie de modo que presenten dos o más etapas de compresión

2. Compresores rotatorios.

Los sopladores, bombas de vacío y compresores rotatorios son todos de desplazamiento positivo, en los cuales un elemento rotatorio desplaza un volumen fijo con cada revolución.

El más antiguo y conocido es el soplador de lóbulos, en el cual dos o tres rotores en forma de **•8•** se acoplan entre sí y se impulsan con engranes de sincronización montados en cada eje. Los sopladores de lóbulos van desde muy pequeños, para compresores producidos en serie, desde unos 2 ft³/min., hasta los más grandes, para unos 20000 PCMS. Se usan principalmente como sopladores de baja presión, que comprimen el aire o gases desde la presión atmosférica hasta 5 a 7 psig y, algunos hasta 25 psig, en tipos especiales. También se utilizan mucho como bombas de vacío, que son en realidad compresores que funcionan con presiones de succión inferiores a la atmosférica y con presiones de descarga iguales a la atmosférica o un poco mayores.

El segundo estilo es el de aspas o paletas deslizantes, que tiene un rotor con ranuras, dentro de las cuales se deslizan las aspas hacia dentro y afuera en cada revolución. Las aspas atrapan el aire o gas y en forma gradual reducen su volumen y aumentan la presión, hasta que escapa por orificios en la carcasa. En las industrias de procesos químicos los tipos de lóbulos y de aspas tienen aplicación limitada porque producen presiones bajas y sólo se pueden obtener, en general con carcasa de hierro fundido, que los hacen inadecuados para ciertos gases corrosivos o peligrosos.

Un tercer tipo es el compresor de espiral rotatorio que se utilizan para altas presiones y vienen en tamaños grandes. Están disponibles en estructuras enfriadas por aceite y secas. Sus capacidades van desde unos 50 hasta 3500 PCMS en el tipo inundado por aceite, y de 1000 a 20000 PCMS en los de tipo seco, estos pueden funcionar a velocidades de 10000 a 12000 rpm y con presiones de descarga de 200 a 400 psig, o sea un aumento de 50 psig por carcasa.

2.1.2 Compresores dinámicos.

1. Centrífugos

Los compresores centrífugos son el tipo que más se emplea en la industria de procesos químicos porque su construcción sencilla, libre de mantenimiento permite un funcionamiento continuo durante largos periodos.



Compresor centrífugo. Fuente: www.geocities.com³

El compresor centrífugo más sencillo es el suspendido, de una sola etapa. Los hay disponibles para flujo desde 3000 hasta 150000 PCMS. El impulsor convencional, cerrado o con placas se utilizaría para cargas adiabáticas hasta de unas 12000(ft-lb)/lb. El impulsor abierto, de álaves radiales producirá mas carga con los mismos diámetros y velocidad, sus variantes, con inductor o alabes tridimensionales producirá hasta 20000(ft-lb)/lb de carga.

Se utilizan diseños similares, hechos con materiales más resistentes y a velocidades más altas, en aplicaciones especiales como compresores de aire con engranes integrales, para aplicaciones aeroespaciales, en los turbocargadores para motores de combustión, compresores de carga, etc.

2. De flujo axial.

En estos compresores, el flujo del gas es paralelo al eje o al árbol del compresor y no cambia de sentido como en los centrífugos de flujo radial. La carga por etapa del axial es mucho menor (menos de la mitad) que la de un tipo centrífugo, por ello, la mayor parte de los axiales se conforman de varias etapas en serie. Cada etapa consta de aspas rotatorias y fijas. En un diseño de reacción de 50 %, la mitad del aumento de la presión ocurre en las aspas del rotor, y las de la segunda mitad en las del estator.

Los compresores de flujo axial están disponibles desde unos 20000 PCMS hasta más de 40000 PCMS y producen presiones de hasta 65 psig en un compresor industrial típico de 12 etapas, o de un poco más de 100 psig, con los turbocompresores de 15 etapas, estos tipos se emplean en turbinas de gas y motores de reacción (jet) para aviones, excepto los muy pequeños.

También se emplean mucho en aplicaciones que requieren flujos de gas superiores a 75000 o 100000 PCMS en especial porque son más eficientes que los centrífugos de etapas múltiples, de tamaño comparable. El axial suele costar más que el centrífugo y, en tamaños más pequeños, solo se justifica por su mayor eficiencia.



Compresor Axial. Fuente: www.geocities.com 4

2.2 El sistema de aire comprimido

Un sistema de aire comprimido se divide en dos partes: el suministro y la demanda.

Del lado del suministro, se encuentra el paquete de compresión, compuesto por el compresor, el motor del compresor, controladores y equipo de tratamiento del aire, como filtros, enfriadores, secadores, tanques de almacenamiento, etc. Por el lado de la demanda, están el cabezal principal, compuesto por las líneas principales de distribución, mangueras, reguladores de presión, válvulas, lubricadores, equipo neumático, etc.

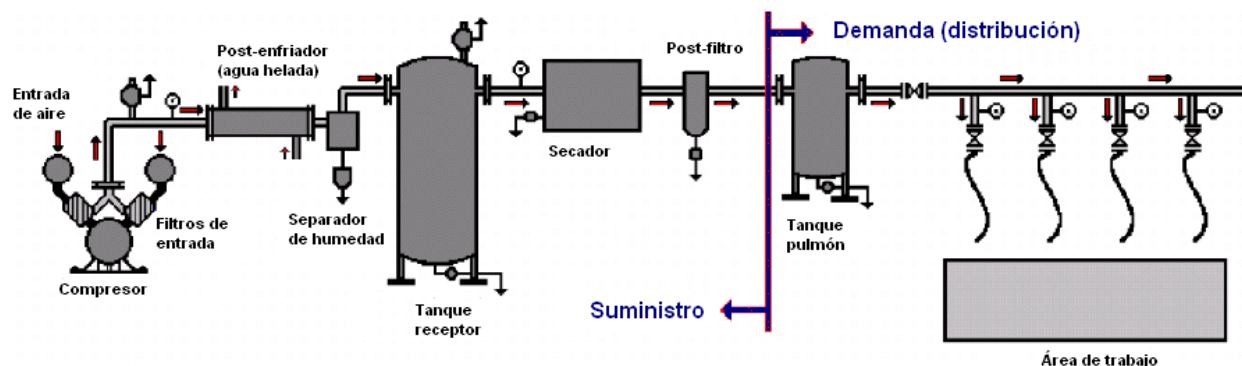


Figura 3 Sistema de aire comprimido

Cada uno de los elementos mencionados, tanto del suministro como de la demanda, tienen una aplicación específica para el mejor desempeño del sistema y, en cada caso, se deberá cuidar su funcionamiento a través de un adecuado mantenimiento.

3 Determine sus necesidades

Las necesidades del aire comprimido están definidas por tres factores determinantes:

- 1) La calidad,
- 2) La cantidad y
- 3) El nivel de presión requerido por los usuarios finales en una planta.

Si determinamos cuidadosamente estas necesidades, estaremos asegurando que la configuración de nuestro sistema de aire comprimido será la más apropiada. A continuación se presentan algunas ideas que le ayudarán a determinar las características del aire que necesita:

3.1 La calidad del aire

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

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

Estas calidades se pueden obtener a través de equipos de secado para controlar el nivel de humedad, y por filtración, para el caso de partículas de polvo y aceite.

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

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

Los compresores rotativos tipo tornillo y los reciprocantes libres de aceite usualmente tienen un alto costo, inicial y de mantenimiento, en comparación a los lubricados por inyección, sin embargo, el equipo adicional de separación y

filtración que éstos últimos requieren, puede causar una reducción en su eficiencia, especialmente en sistemas a los que no se les da un buen mantenimiento.

Antes de seleccionar un compresor libre de aceite o uno lubricado por inyección, se deberá de considerar cuidadosamente las necesidades del proceso y de los equipos, esto en cuanto al nivel de aceite permitido en el aire, incluyendo en estas consideraciones el riesgo y el costo asociado de terminar con un producto contaminado.

Recuerde que los compresores tienen un intervalo de eficiencia del 5 al 20% por lo que es muy importante la selección adecuada del equipo.

3.2 Cantidad de aire (capacidad)

La capacidad del sistema de aire comprimido se determina sumando el consumo promedio requerido por cada una de las herramientas y por la operación de cada proceso en toda la planta, tomando en cuenta factores de carga de cada uno de éstos.

Todo sistema puede presentar picos de demanda que se pueden satisfacer a través de tanques de almacenamiento o tanques pulmón; éstos serán más efectivos si se localizan lo más cerca posible de donde se requieran estas altas demandas. En muchos casos, una evaluación cuidadosa de la demanda del sistema nos puede llevar a una adecuada estrategia de control a través de estos tanques, de tal suerte que podamos reducir la capacidad global del compresor que se vaya a adquirir.

Sobredimensionar los compresores de aire es extremadamente ineficiente, porque la mayoría de los sistemas, operando a carga parcial, consumen más energía por unidad de volumen de aire producido. Es preferible comprar varios compresores pequeños con un control secuencial de arranque, permitiendo así una operación más eficiente cuando la demanda es menor que la demanda pico.

Si a pesar de que el sistema fue diseñado apropiadamente y recibe un mantenimiento adecuado, sigue experimentando problemas de capacidad, una alternativa, antes de añadir otro compresor, es volver a analizar el uso del aire comprimido en cada una de las áreas de aplicación, ya que tal vez pueda utilizar, de manera más efectiva, sopladores o herramientas eléctricas o, tal vez, simplemente pueda detectar usos inapropiados.

Otra forma efectiva de diseñar y operar apropiadamente un sistema de aire comprimido es evaluar su perfil de carga. Las variaciones de demanda durante el tiempo total de uso del aire comprimido es una de las principales consideraciones cuando se diseña un sistema de esta índole.

Las plantas con grandes variaciones de demanda necesitarán de un sistema que opere eficientemente bajo carga parcial; en tales casos, el uso de compresores múltiples con controles secuenciales de arranque, pueden operar el sistema de forma más económica. En cambio, en plantas con un perfil de carga con pocas o nulas variaciones, se pueden utilizar estrategias de control simples.

Por otro lado, los usos inapropiados dan lugar a una demanda artificial ya que requieren de un exceso en el volumen de aire y, por consecuencia, una mayor presión que el requerido por las propias aplicaciones. El uso de controladores de flujo puede ayudar a minimizar esta demanda artificial.

3.3 Nivel de presión requerido

El nivel de presión del sistema debe ser definido, primero a través de los requerimientos de cada una de las herramientas que normalmente han sido probadas por los fabricantes, a su vez las presiones requeridas por los diferentes procesos deben ser especificadas por el ingeniero de proceso. Con ambos requerimientos se puede definir el nivel de presión del sistema, no olvidando que a mayor nivel de presión el sistema será más costoso, desde el punto de vista energético y de mantenimiento.

Por otro lado, cuando se defina el nivel de presión del sistema, se deben de tomar en cuenta las pérdidas del sistema a través de las tuberías y accesorios de los equipos adicionales, como secadores, separadores, filtros, etc.

4 Evite usos inapropiados

Energéticamente hablando, el aire comprimido resulta el servicio más caro en una planta y dado que es limpio, que está disponible rápidamente y es simple de usar, a menudo se utiliza en aplicaciones inapropiadas en donde otras fuentes serían más económicas. Por lo anterior, al considerar el uso de aire comprimido, los usuarios deben evaluar el costo-beneficio de preferir otro tipo de servicio sin perjudicar la producción de la empresa. A continuación se destacan algunas acciones que se pueden observar para un mejor desempeño del sistema.

Un error común es dejar la succión del aire del compresor dentro del cuarto de máquinas, sin tomar en cuenta que éstas generan calor, el cual provoca que la temperatura del aire de succión sea alta, dando como resultado una baja eficiencia del compresor y, por lo tanto, un alto consumo de potencia del mismo. Por ello, se recomienda instalar un ducto de succión de aire fresco exterior, debidamente aislado, ya que se estima que por cada 4° C de incremento en la temperatura del aire de succión se incrementará un 1% la energía consumida por el compresor para la misma cantidad de aire comprimido.

Analice la conveniencia de usar sopladores o ventiladores en lugar de aire comprimido para enfriar, aspirar, agitar, mezclar o para inflar cierto tipo de materiales para empackado. Por ejemplo, se puede utilizar ventiladores o aire acondicionado para enfriar gabinetes eléctricos en vez de los tubos vórtex, y para limpiar o remover desechos, se puede revisar la posibilidad de utilizar escobillas o sopladores.

Es más conveniente utilizar una bomba de vacío en lugar de crear vacío con aire comprimido a través del efecto venturi. Valore la conveniencia de utilizar sopladores, actuadores eléctricos o hidráulicos, en lugar de aire comprimido, para mover partes, o bien, de utilizar equipos como pistolas de golpe, lanzadoras de aire, etc., que funcionen con presiones bajas de aire.

Revise la posibilidad de utilizar motores eléctricos de alta eficiencia en herramientas o actuadores, lo cual debe ser muy bien evaluado, ya que las herramientas eléctricas pueden tener menos precisión en el control del par, menor tiempo de vida y, además, no tienen la seguridad de las herramientas que utilizan aire comprimido.

Recuerde que toda herramienta neumática debe tener un regulador de presión instalado justo antes de la misma, para que trabaje con la presión a la que fue diseñada; de lo contrario, utilizará la presión total del sistema, incrementando con ello la demanda de aire y, por lo tanto, el consumo de energía. Además, los niveles altos de presión aumentarán su desgaste, reduciendo así su vida útil y elevando los costos de mantenimiento.

En casi todas las plantas, los equipos sufren cambios en su configuración, por lo que en algunas ocasiones éstos pueden quedar subutilizados; si éste es su caso, cierre la alimentación de esos equipos, en la medida de lo posible, siempre y cuando no afecte la operación de su proceso. Como regla general, el aire comprimido sólo deberá utilizarse si se existe la certeza de que el resultado será un aumento del valor, que signifique una ganancia en la productividad y/o una reducción de operaciones.

Si es indispensable usar aire comprimido para una aplicación, se deberá de utilizar la menor cantidad a la menor presión posible y con el menor tiempo de uso. El aire comprimido debe estar en constante control y evaluación.

5 Localice y elimine fugas

Las fugas en el sistema de aire comprimido representan un problema típico con la consecuente caída de presión en todo el sistema. Esta situación origina varios problemas operativos como son: un trabajo ineficiente de los equipos que utilizan este servicio lo que equivale a menor productividad; un aumento en la frecuencia de los ciclos del sistema de compresión, lo cual disminuye la vida útil de éste y la de los demás componentes del sistema; un aumento en los requerimientos de mantenimiento, que incrementa los paros no programados y, por último, obligará a elevar innecesariamente la capacidad de nuestro sistema de compresión.

5.1 Aspectos generales

Antes de decidir la compra de un compresor extra, usted deberá de estudiar el efecto de las fugas, ya que arreglándolas puede obtener esa capacidad extra que requiere. La siguiente tabla le puede ser de utilidad para determinar rápidamente la cantidad de aire y potencia que se está desperdiciando

Diámetro del orificio (mm)	Caudal del aire a 90 psi (m ³ /min)	Pérdida de potencia utilizada para su compresión (kW)
1	0.06	0.3
3	0.60	3.1
5	1.60	8.3
10	6.30	33.0

Dados los niveles de pérdidas en los que posiblemente se esté incurriendo y, por otro lado, los beneficios que se pueden obtener, a continuación se presentan una serie de pasos y recomendaciones, cuya aplicación puede dar muy buenos resultados.

5.2 Determine el nivel de fugas de su sistema

El porcentaje de fugas, en términos de la capacidad del compresor, deberá ser menor al 10% si el sistema recibe un buen mantenimiento, de lo contrario, este porcentaje puede llegar a ser del orden del 20-30% de pérdidas de la capacidad del compresor.

La mayoría de los compresores modernos están dotados de medidores de tiempo que llevan un registro de los períodos de 'carga' y 'no carga', por lo que un incremento en el período de carga para el mismo nivel de producción, nos indica que los niveles de fugas han aumentado. Si su compresor no está equipado con un medidor, esto se puede contabilizar de manera práctica con un simple cronómetro.

Si se conoce el caudal (VC) del compresor y el porcentaje de fugas, se puede obtener el flujo de éstas (VL) con la siguiente relación: $VL = (VC \times \%Fugas)/100$. Las unidades dependerán de las unidades de gasto en las que este el caudal, por ejemplo, m³/min., ft³/min., etc.

5.3 Localice las fugas

Debido a que la mayoría de las veces las fugas del aire comprimido son imperceptibles, inodoras y prácticamente imposibles de ver, se pueden emplear diferentes métodos para su localización; la mejor forma para detectarlas es mediante la utilización de un detector acústico ultrasónico, el cual puede reconocer la alta frecuencia de los ruidos y sonidos asociados con las fugas de aire.

Sin embargo, la compra o renta de ese tipo de detectores resulte muy caras, por lo que un método simple y económico consiste en utilizar espuma de jabón, la cual se aplica con una brocha en las áreas a inspeccionar.

Las fugas pueden estar localizadas casi en cualquier parte del sistema; sin embargo, comúnmente se localizan en: acoplamientos, mangueras, tubos, reguladores de presión, trampas abiertas de condensados, válvulas fuera de operación, sellos de las tuberías, desconexiones y juntas en mal estado, por mencionar algunas.

La tubería de distribución ubicada en el exterior está más propensa a la corrosión, debido a la humedad del ambiente y del aire comprimido; si bien es cierto que el equipo de secado ayuda, siempre considere la opción de utilizar tubería de plástico en esas áreas.

En muchos casos, las fugas pueden ser producto de una mala o inadecuada aplicación del sellador, revise esta situación.

5.4 Elimine las fugas encontradas

Eliminar una fuga puede ser tan sencillo como apretar bien una conexión o tan complejo como reparar el accesorio con falla; pero, en general, el gasto para eliminarla siempre será más económico que el costo de no hacerlo.

Para limitar las fugas de aire comprimido en las horas de producción, instale válvulas de aislamiento en todos los ramales las cuales, además, nos ayudarán a aislar equipos que no serán utilizados por largo tiempo. Se recomienda utilizar válvulas del tipo bola, ya que son fáciles de abrir y cerrar.

Cuando requiera agregar equipos que utilicen aire comprimido, haga la menor cantidad de uniones posibles. En ocasiones, para eliminar algunas fugas es necesario esperar hasta que se lleve a cabo un paro programado de la planta; mientras tanto, puede localizar o marcar las fugas con una señal de alerta y eliminarlas cuando el paro se presente. Una manera de minimizar el problema de fugas de aire es reducir la presión del sistema, ya que entre más bajo sea el diferencial de presión a través del orificio de la fuga, más baja será la cantidad de flujo de aire perdido.

5.5 Defina un programa preventivo de fugas

Un buen programa preventivo de fugas debe incluir los siguientes componentes: identificación (incluyendo marcado), ajuste, reparación, verificación e involucramiento de todos los empleados.

Todos los usuarios involucrados con el sistema de aire comprimido deben cumplir este programa preventivo de fugas. Al efecto, se sugiere formar equipos en los que participen personas que puedan tomar decisiones y, por supuesto, la gente de producción.

La prevención de fugas debe ser parte de un programa global, en el que se pruebe el desempeño de los sistemas de aire comprimido. Una vez que se detectan y reparan las fugas, el sistema debe de ser nuevamente evaluado.

Dentro del programa de prevención de fugas, establezca un calendario de reemplazo a intervalos regulares -se recomienda cada 3 ó 4 meses- de juntas flexibles, mangueras de hule, uniones, empaques, etc. Por otro lado, cuidando no quitarle flexibilidad al sistema, cambie las uniones roscadas por uniones soldadas.

Instale válvulas solenoides individuales en cada punto de uso; éstas cortan el suministro del aire comprimido cuando el equipo neumático no tiene actividad, de esta forma se minimizan considerablemente las pérdidas por fugas y las caídas de presión del sistema

6 Minimice las caídas de presión

La "caída de presión" es un término utilizado para caracterizar la reducción en la presión del aire desde la descarga del compresor hasta el punto final de uso. La caída de presión ocurre cuando el aire comprimido viaja, primero, a través del equipo de acondicionamiento (secadores, filtros, etc.) y, segundo, cuando lo hace a través de todo el sistema de distribución.

Implementando algunas acciones correctivas, se pueden lograr importantes reducciones en el consumo energético; por esto, a continuación se presentan algunas ideas para minimizar las caídas de presión en su sistema.

6.1 Aspectos generales

En términos de eficiencia energética, el arreglo geométrico más versátil y eficiente para un sistema de distribución, es una línea de distribución principal (cabezal) en forma de anillo (loop), cuyos usuarios están distribuidos alrededor de éste.

La caída de presión no debe ser mayor del 10% entre la planta de compresión y el punto más alejado de consumo, por lo que se recomienda mantenerla entre 5 y 15 psi como máximo.

Caídas de presión mayores a los valores señalados darán como resultado un desempeño pobre del sistema y, por lo tanto, un consumo excesivo de energía ya que por cada 2 psi de caída de presión se tendrá un aumento aproximado de un 1% en el costo equivalente de la potencia consumida por el compresor.

Por lo anterior, antes de incrementar la presión de operación en los puntos de uso, trate primero de reducir la caída de presión del sistema, porque al incrementarla, además de aumentar el consumo de energía, acentuará precisamente los problemas de caídas de presión y de fugas dentro del sistema.

6.2 Determine que causa una alta caída de presión

Para identificar que componentes causan una alta caída de presión, mida la presión en mangueras, tuberías, conectores, conexiones, filtros, reguladores, válvulas, etc. y, del lado del suministro del sistema, mida la presión en los separadores de aceite, postenfriadores, separadores de humedad, secadores y filtros.

Inspeccione su instalación en busca de tramos de tubería dañada, cuyo diámetro se haya reducido por golpes; además, busque codos, reducciones y conectores dañados, y cámbielos.

Recuerde que la máxima caída de presión en los puntos del lado del suministro ocurre cuando la cantidad de flujo de aire comprimido y la temperatura son altas, por lo que, para poder minimizarlas, debemos mantener el sistema tan cerca como se pueda del diseño original del mismo.

Por lo anterior, seleccione y mantenga dentro de las especificaciones de diseño todos los equipos utilizados para acondicionar el aire, o bien, trate de comprar equipos que le den una menor caída de presión para máximas condiciones de operación

Cerciórese de que los reguladores de presión, mangueras, conexiones, etc., tengan las mejores características de desempeño a presiones diferenciales bajas.

De ser posible, reduzca la distancia que el aire tiene que recorrer a través del sistema de distribución, manteniendo la velocidad del flujo del aire entre 6 m/s y 10 m/s para reducir al mínimo las caídas de presión en las líneas. Esto se logra seleccionando correctamente el diámetro de la tubería de distribución.

Asegúrese de mantener siempre limpios los componentes, principalmente filtros y secadores, a través de un programa de mantenimiento.

7 Controle la presión en el sistema

Muchas plantas de aire comprimido operan, por ejemplo, en carga total a una presión de descarga de 100 psi y en vacío a una igual o mayor 116 psi. Por otro lado, es típico encontrar que la mayoría de los equipos y de las herramientas operan eficientemente con un suministro de aire de 85 psi o menos. Esto nos lleva a pensar que podemos, en algunos casos, reducir la presión de descarga de nuestro sistema de compresión, o bien, reducir solamente la presión del sistema de distribución o, en el mejor de los casos, reducir ambas presiones. El porqué, el cómo hacerlo y las precauciones que se deben tomar, se explican a continuación.

7.1 Aspectos generales

Antes de realizar cualquier cambio a su sistema, revise si la presión de descarga de su compresor fue determinada considerando las caídas de presión a través de filtros, tuberías, reguladores, mangueras, etc., de tal suerte que se asegure la presión requerida en los equipos de uso final.

Si una aplicación en particular requiere una presión alta, en lugar de aumentar la presión de operación de todo el sistema, utilice un regulador de elevación (*booster*), que le puede dar el doble de presión pero, si por el contrario, requiere aire comprimido de más baja presión que el resto del sistema, se puede ahorrar energía utilizando reguladores de aire que suministren esa baja presión y bajo flujo.

7.2 Reducción de la presión en el sistema de distribución

El reducir y controlar la presión del sistema de distribución, esto es, desde el tanque de recepción primario hasta los puntos de utilización nos puede resultar en una reducción en el consumo de energía del 10% o más, aún cuando la presión de descarga del compresor no haya sido cambiada. Además, mejora el desempeño global del sistema, ya que se reducen los niveles de fugas y se minimizan los problemas de caídas de presión, aumentando con ello capacidad del sistema. Por otro lado, se reducen los esfuerzos en los componentes y en los equipos en operación; por ello, si su sistema requiere cantidades significativas de aire comprimido, especifique los equipos que operen con bajos niveles de presión.

Sin embargo, recuerde que una reducción en la presión podría requerir modificar o cambiar algunos componentes de acuerdo a las nuevas presiones, tales como controladores, filtros, etc. Es importante hacer estos cambios para evitar que cualquier variación en la demanda cause una disminución en los puntos de uso y que los equipos no operen de forma adecuada; el hacer esto tendrá un costo, pero normalmente éste se recupera rápidamente. Revise que se haya especificado la presión real que utilizarán sus equipos; a menudo se comete el error de especificar la presión promedio del sistema, lo que trae como resultado un alto costo en la operación del mismo, dado que los equipos trabajarán entre la presión de descarga y su presión de trabajo; además, habrá fugas y el sistema se irá ensuciando, por lo que sus equipos trabajarán, a una presión menor de la que requieren.

7.3 Reducción de la presión en el sistema de compresión

Recuerde que a mayor presión mayor será el consumo de energía; por ello, asegúrese de que el diseño de su sistema de aire comprimido no haya considerado únicamente los requerimientos de presión máxima, sobre todo cuando unos cuantos usuarios serán los que la utilicen en estos niveles.

Ciertamente reducir la presión del sistema nos da ahorros significativos pero, antes de hacerlo, revise el desempeño del compresor a diferentes presiones de descarga. Si realmente no existe problema con el compresor, cuando reduzca la presión no olvide ajustar el control del mismo para la nueva demanda y, de ser posible, poder apagarlo o ponerlo en modo 'sin-carga' para obtener mayor reducción en el consumo de energía. Cuando calcule el consumo promedio de aire comprimido de la planta, estime el total que requiere a baja presión (35 a 50 psi) y el total en alta presión (arriba de 50 psi) y si cualquiera de éstos constituyen de un 20% a un 30% más que otro, entonces le conviene tener un sistema de baja presión (LP) y uno de alta presión (HP).

7.4 Ventajas de reducir la presión en el sistema

Se reducen proporcionalmente los niveles de fugas, puesto que el nivel de fugas es alto en un sistema que trabaja a alta presión solamente; por otro lado, se reducen los costos de operación global, además, de que el desgaste o deterioro del compresor es menor a baja presión.

Aumenta la vida útil de instrumentos, válvulas, etc., ya que la presión alta tiende frecuentemente a dañar las uniones, empaques, etc., y en algunos casos se reduce la inversión al no tener que comprar válvulas reductoras.

8 Defina una estrategia de control

Los controles en los sistemas de aire comprimido hacen que la oferta sea lo más cercana posible a la demanda del sistema. Aunque no siempre se logra en tiempo real, esta ventaja los convierte en la herramienta más importante para obtener reducciones en el consumo energético, ya que un control adecuado nos dará una operación eficiente y un alto desempeño del sistema, pero se debe ser muy cauteloso al momento de seleccionar tanto el compresor como su sistema de control.

La justificación de todo control está basada en los ahorros en el consumo de energía, dado que se puede obtener desde un 10% de ahorro en promedio hasta un 30%, pudiendo recuperar toda la inversión realizada en menos de un año. Por todo lo anterior, en este apartado se analizarán los diferentes esquemas de control y cómo éstos pueden ayudarnos en nuestras estrategias de reducción del consumo de energía.

8.1 Aspectos generales

Todo sistema de aire comprimido debe estar diseñado para operar de acuerdo a la capacidad del compresor o del conjunto de compresores, en un rango de presión fijo y entregar, dentro de estos dos parámetros, el volumen de aire requerido por el sistema; el cual variará de acuerdo a la demanda.

Dado que actualmente los controles son más rápidos y precisos, ya que su operación está basada en microprocesadores, se puede monitorear la presión dentro de un rango de presión más estrecho, a cuya diferencia se le conoce como 'intervalo de control'; el cual puede variar de 2 psi a 20 psi, dependiendo de la demanda del sistema.

El objetivo de cualquier estrategia de control es monitorear la presión dentro del intervalo de control, para reducir o incrementar la salida del compresor cuando se alcanzan los parámetros máximo o mínimo, respectivamente. Esto tiene la ventaja de mantener, en forma precisa, un promedio más bajo de presión sin ir por debajo del mínimo requerido por el sistema, lo que nos ayuda a evitar efectos negativos en la calidad del producto y a utilizar menos energía.

Por otro lado, cuando se tienen varios compresores, el objetivo es ir sacando de operación los compresores que no se necesitan o desfasar la entrada de éstos e ir metiendo cada uno hasta que la operación lo requiera, cuidando que no entre otro a menos que el anterior esté a plena carga, exceptuando aquel que se deja como auxiliar de los demás.

Aunque lo anterior es cierto, recuerde que toda estrategia de control es específica para un sistema dado y está determinada por el tipo de compresor y por el perfil de la demanda; por ejemplo, para un solo compresor con una demanda muy estable, un sistema de control simple puede ser el más apropiado; por el contrario, con dos o más compresores con una demanda variable y diferentes tipos de uso final, se requerirá una estrategia más sofisticada.

Como se puede ver, la definición de la estrategia de control es esencial para una operación eficiente y obtener un alto desempeño del sistema, ya que, como sabemos, por cada 2 psi de diferencia en presión se tendrá un incremento aproximado de un 1% en el costo equivalente a la energía consumida por el compresor. Anteriormente, los esquemas de control eran lentos e imprecisos, lo cual, aunado a la falta de supervisión, hacía que los sistemas de

aire comprimido operarán con rangos de control muy amplios, que generaban altas oscilaciones, y había que mantener la presión alta para asegurar que éstas no estuvieran por debajo de los requerimientos mínimos.

Hoy en día, la tecnología ha permitido desarrollar diferentes esquemas de control que nos permiten apagar o desfasar la entrada de los compresores para seguir la demanda lo más cerca posible, dentro de un rango de control de presión más preciso, sin que se presenten estos problemas de oscilación.

8.2 Esquemas individuales de control en compresores

8.2.1 Prendido / Apagado (on/off o start/stop).

Es el control más simple disponible, ya que a través de un simple interruptor automático de caída de presión prenden o apagan el motor del compresor. Dada su sencillez, se le puede utilizar tanto en compresores reciprocantes como en compresores rotativos tipo tornillo.

Por la forma de operación, su aplicación se limita a sistemas con ciclos de servicio muy bajos; de lo contrario, el motor se puede sobrecalentar por los constantes arranques; además, se tendría que dar un mantenimiento mayor a otros elementos del compresor.

Para mejorar su aplicación, se recomienda utilizarlos en conjunto con arrancadores suaves que nos permitan incrementar el número de arranques y paros por hora. Esta aplicación particular es muy útil cuando se tienen dos o más compresores y se requiere prenderlos en secuencia.

8.2.2 Carga / Sin-Carga (load/unload)

Conocidos también como controles de velocidad constante, estos esquemas alimentan el sistema en el modo de 'carga' y cuando la presión se alcanza, pasan al modo 'sin-carga', donde el compresor sigue trabajando, pero sin entregar aire al sistema; esto permite que el motor opere a velocidad constante.

Generalmente, se utilizan en compresores reciprocantes y en compresores rotativos tipo tornillo de alta capacidad, pero pueden consumir de 15% a 35% de la potencia a plena carga al trabajar en vacío (modo 'sin-carga'), por lo que pueden ser muy ineficientes.

8.2.3 Moduladores (modulating controls).

Permiten variar la salida del compresor y seguir la demanda, restringiendo la entrada del aire al compresor a través de una válvula de estrangulamiento. Son muy eficientes en compresores centrífugos y más aún cuando se les combina con álabes de entrada que guíen el aire a favor de la dirección en que gira el impulsor, pero se debe tener cuidado con estos compresores, dado que son muy inestables a demandas bajas. En compresores de desplazamiento positivo son muy ineficientes.

8.2.4 Pasos Múltiples o Carga Parcial (part-load)

Debido a que pocos sistemas de aire comprimido operan a plena carga todo el tiempo y dado que el desempeño de un compresor se vuelve crítico a cargas parciales, algunos compresores se diseñan para trabajar bajo estas condiciones de carga a través de estos esquemas de control que permiten regular la presión de salida sin afectar su desempeño y sin requerir un control del tipo prendido/apagado o del tipo carga/sin-carga.

Específicamente, algunos compresores reciprocantes están diseñados para ser controlados a diferentes pasos: pueden ser de 2 pasos (0,100 %), de 3 pasos (0,50,100 %) y de 5 pasos (0,25,50,75,100 %), logrando con esto tener un control muy estrecho de la presión y, con ello, casi una relación directa entre el consumo de potencia del motor y la carga demandada.

En compresores rotativos tipo tornillo, se puede conjuntar este esquema de control con la operación de una válvula de estrangulamiento de entrada para tener una mayor exactitud en el control de la presión, mejorando su eficiencia energética a carga parcial.

8.2.5 Variadores de Frecuencia (VFD).

A través de variar la frecuencia, los esquemas de control VFD varían automáticamente la velocidad del motor del compresor; esto nos permite hacer un modulado fino de la capacidad del compresor y, por lo tanto, podremos responder fielmente y de forma precisa a las fluctuaciones de la demanda.

Los VFD se pueden instalar en casi cualquier compresor, pero, por sus características, los mejores resultados se obtienen aplicándolos en los compresores rotativos tipo tornillo, sobre todo cuando se tienen demandas fluctuantes, ya que tienen una excelente respuesta a picos de carga.

Los esquemas de control VFD eliminan el modo de operación 'sin-carga', por lo que se eliminan las pérdidas estimadas del 15% al 35% que se tienen por operar en vacío el compresor; además, al poder medir la presión con gran exactitud, nos permiten ajustar la velocidad en forma automática, manteniendo, por lo tanto, una presión constante en el sistema.

8.3 Estrategias de control para sistemas múltiples

8.3.1 Secuenciadores (control maestro simple o single master).

Son dispositivos utilizados para regular un sistema a través de ir metiendo o sacando en secuencia la capacidad de los compresores individuales de acuerdo a la demanda del sistema. La decisión de cual y cuando entra o sale un compresor la realiza una unidad maestra.

Este sistema de control, generalmente, ofrece una alta eficiencia, debido a que los rangos de aproximación en la presión, son muy estrechos; esto permite una reducción en la presión promedio del sistema, pero nuevamente, se deben de tomar precauciones cuando se utiliza el promedio más bajo de presión, ya que cambios repentinos en la demanda pueden ocasionar caídas de presión por debajo del mínimo requerido, llevando con esto, a un funcionamiento inadecuado del equipo.

Una cuidadosa comparación de los sistemas de control y de la capacidad de almacenamiento de tanques pulmón, puede prevenir estos problemas.

8.3.2 Controles en Red (control multi-maestro o multi-master).

Los controles en red ofrecen lo último en sistemas de control. Cada compresor tiene un control individual, pero ligado en forma conjunta y comparten toda la información del sistema, siendo uno de ellos definido como líder. Dado que se

comparte información, las decisiones tomadas con respecto a la demanda son mucho más rápidas y precisas, lo que permite disminuir el porcentaje de presión en el sistema, obteniendo con ello los ahorros antes mencionados.

Es importante señalar que estos controladores son utilizados para sacar de operación cualquier compresor que se encuentre operando de manera innecesaria; además, también permiten la operación del compresor de un modo más eficiente. Los controladores utilizados en red son, pues, una combinación de controles que brindan la posibilidad de controlar un compresor en forma individual, así como todo un sistema de aire comprimido.

A pesar de que los costos para este tipo de control siguen siendo altos, cada día se vuelven más comunes, debido a que reducen de forma importante los costos operacionales, por lo que se debe estudiar cuidadosamente su rentabilidad y buscar la forma de instalarlos.

8.3.3 Controladores de flujo.

Son sistemas de control de presión o de densidad que son utilizados de manera conjunta con controles individuales o en los sistemas de control descritos anteriormente. Un controlador de flujo no controla de manera directa a un compresor y, generalmente, no está incluido en la compra del compresor. Un controlador de flujo es un elemento que sirve para separar el lado del suministro (sistema de compresión) del lado de la demanda (sistema de distribución).

Los controladores de flujo permiten operar a los compresores muy cerca de su presión óptima para una máxima eficiencia, permitiendo que la presión del lado de la demanda pueda ser reducida hasta el mínimo requerimiento de su uso, pero como parte esencial de control, es necesario dimensionar un tanque pulmón que satisfaga altas fluctuaciones en la demanda.

Un sistema bien diseñado y administrado deberá integrar estrategias de control de la demanda, monitoreos, control es del compresor y almacenamiento. La meta es trabajar con una demanda a la presión más baja posible, tratando de solventar los posibles eventos mediante el aire almacenado en un tanque pulmón; esto puede significar un nivel muy bajo de consumo de energía.

8.3.4 Almacenamiento (tanques pulmón).

Los tanques de almacenamiento o tanques pulmón se utilizan para controlar períodos de “picos de demanda” en el sistema, reduciendo con ello el nivel de las caídas de presión. Son muy utilizados para proteger de otros eventos del sistema, con aplicaciones donde el nivel de presión es crítico. Se utilizan también para soportar la velocidad de respuesta en el suministro. Es importante tener una válvula de control de flujo para estar rellenando estos tanques.

Dadas las ventajas que ofrecen, muchos sistemas que tienen un compresor operando de manera modulada para responder a los eventos en demanda pueden, a través de soluciones estratégicas de almacenamiento, permitir a ese compresor ser sacado de operación.

9 Recuperar calor del sistema

Entre un 80% y un 93% de la energía eléctrica utilizada por un compresor de aire industrial se convierte en calor. En la mayoría de los casos, con un diseño apropiado de la unidad de recuperación de calor, se puede recuperar desde un 50% hasta un 90% de esa energía térmica disponible, la cual puede ser utilizada para el calentamiento de aire o de agua; por ejemplo, se puede usar para precalentar el agua tratada de compensación en calderas.

Aun cuando la cantidad de energía térmica recuperable es alta, usualmente no es suficiente como para producir vapor. Exceptuando esto último, son considerables los ahorros en energía derivados del uso del calor recuperado. A continuación se presentan las formas de recuperar dicha energía térmica y sus posibles aplicaciones.

9.1 Recuperación de calor para calentamiento de aire

Los compresores rotativos tipo tornillo enfriados por aire, son muy susceptibles para la recuperación del calor, que puede ser utilizado para calefacción de espacios u otros usos. El aire del ambiente es calentado al pasar a través del sistema del post-enfriador y del sistema de enfriamiento del lubricante, en donde se extrae el calor tanto del aire comprimido como del aceite que se usa para lubricar y enfriar el compresor. Dado que los compresores son encerrados en gabinetes, regularmente incluyen intercambiadores de calor y ventiladores; la única modificación que requeriría el sistema, sería el adicionar ductos y otro ventilador para manejar la carga en estos y para eliminar cualquier contrapresión en el ventilador de enfriamiento del compresor.

Los sistemas de recuperación de calor anteriormente descritos se pueden regular para mantener una temperatura constante mediante un simple control de termostato; por ejemplo, en invierno se puede enviar el aire a través de ductos a alguna oficina o al comedor de la planta y, en verano, cuando el aire caliente no es requerido, se puede enviar hacia fuera del edificio.

Como regla general, se pueden obtener aproximadamente 50,000 Btu/hora de energía por cada 100 cfm de capacidad a plena carga, a una temperatura de 15°C y a 20°C por encima de la temperatura del aire de entrada, por lo que es normal obtener eficiencias de recuperación del orden del 80% al 90%.

No obstante, se debe de tener precaución, porque si la toma de aire del compresor no es externa y el calor recuperado es utilizado en otro espacio, se puede reducir la presión estática en el gabinete y reducir la eficiencia del compresor; pero si la toma del compresor es del exterior del cuarto de compresores, se debe utilizar aire de retorno para prevenir daños al compresor cuando la temperatura del aire está por debajo de la temperatura de congelamiento.

La recuperación del calor para calefacción no es común en compresores enfriados por agua, ya que se requiere de un paso extra de intercambio de calor y la temperatura del calor disponible es baja en este tipo de compresores. Dado que en la actualidad los compresores enfriados por agua son un poco más grandes, es factible recuperar calor para calefacción y, en algunos casos, esta aplicación puede ser atractiva con eficiencias de recuperación de entre un 50% y un 60 %.

9.2 Recuperación del calor para calentamiento agua

Con un intercambiador de calor también es posible extraer el calor de desperdicio de los aceites lubricantes utilizados, tanto en compresores reciprocantes como en compresores rotativos tipo tornillo, enfriados por agua, para producir agua caliente, potable o no potable.

El agua caliente se puede utilizar en un sistema central de calentamiento, en el sistema de calderas, en procesos de limpieza, en bombas de calor, baños, lavanderías y en cualquier otra aplicación en donde se requiera agua caliente. Los intercambiadores de calor también ofrecen la oportunidad de producir aire y agua caliente al mismo tiempo, permitiendo al operador definir la relación entre la cantidad de agua y aire que va a calentar.

10 De mantenimiento al sistema

Al igual que todo sistema electromecánico, los sistemas industriales de aire comprimido requieren de mantenimiento para operarlos a su máxima eficiencia y, con ello, minimizar tiempos perdidos por paros. Un mantenimiento inadecuado incide fuertemente en el consumo de energía a través de una baja eficiencia de compresión, por fugas de aire o por variabilidad en la presión.

Esto también puede suceder por temperaturas altas de operación, un control pobre de humedad y una excesiva contaminación. Muchos problemas son menores y pueden ser resueltos por medio de ajustes simples, limpieza, reemplazo de equipo o por la eliminación de condiciones adversas.

Por la importancia que reviste el mantenimiento para tener un sistema en óptimas condiciones de desempeño, a continuación se dan algunas recomendaciones, para lograr lo anterior, iniciando con un listado de acciones básicas para su rápida observación.

10.1 Listado básico de mantenimiento para un sistema de aire comprimido

1. Inspeccione los cartuchos del filtro de entrada., límpielos o cámbielos de acuerdo a las especificaciones del fabricante. Los filtros sucios incrementan el consumo de energía.
2. Limpie los desechos acumulados en las trampas para drenaje de condensados. Revíselas periódicamente.
3. Revise el nivel de aceite del compresor diariamente y llénelo o reemplácelo cuando sea necesario. Cambie el filtro de aceite de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
4. Reemplace los separadores de aceite de acuerdo a las especificaciones del fabricante o cuando la caída de presión exceda las 10 psi de diseño.
5. Elija el aceite lubricante del compresor y del motor eléctrico de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
6. Revise el desgaste de las bandas y ajústelas de acuerdo a las especificaciones del fabricante.
7. Verifique que la temperatura de operación sea la indicada por el fabricante.
8. Reemplace y/o remueva los filtros de aire en las líneas cuando la caída de presión exceda las 2 ó 3 psi de diseño. Inspeccione todos estos elementos al menos una vez por año.
9. Revise la calidad del agua en los sistemas de enfriamiento., principalmente el grado de acidez (pH), el total de sólidos disueltos, el flujo y la temperatura. Limpie o cambie los filtros y los intercambiadores de calor de acuerdo con las especificaciones del fabricante.
10. Asegúrese de que no existan fugas en las líneas (principalmente en las uniones) herrajes, abrazaderas, válvulas, mangueras, desacopladores, reguladores, filtros, lubricadores, conexión de medidores y equipos finales.
11. Mantenga limpio el sistema, revise fugas de aceite tanto del compresor como del motor eléctrico.

10.2 Generalidades

Todos los equipos en un sistema de aire comprimido se deben de mantener de acuerdo a las especificaciones de su fabricante. Algunos fabricantes ofrecen un programa de servicios de mantenimiento que puede ser contratado y ejecutado de manera estricta. En muchos casos, tiene sentido darles mantenimiento a los equipos con mayor frecuencia que los intervalos recomendados por los fabricantes, los cuales están diseñados en principio para proteger a los equipos.

La única forma de saber si al sistema se le está dando un buen mantenimiento y si éste se encuentra operando apropiadamente, es revisar periódicamente las relaciones entre la potencia, la presión y el flujo del sistema. Si la potencia utilizada indica que los valores de presión y flujo están subiendo, la eficiencia del sistema está disminuyendo. Estas relaciones también permitirán saber si el compresor está operando a carga total y si la capacidad se disminuye fuera de tiempo.

Las áreas principales del sistema de compresión a las que se les necesita dar mantenimiento son: el compresor, las superficies del intercambiador de calor, el separador del aceite en el aire, el lubricante, el filtro de aceite y los filtros de aire a la entrada.

El compresor y las superficies del interenfriador se deben mantener limpias y libres de suciedad. Si éstos están sucios, la eficiencia del compresor disminuirá. Los ventiladores y las bombas de agua también deben ser inspeccionados para asegurarse que estén operando a su máximo desempeño.

En un compresor rotativo tipo tornillo enfriado por aceite, el separador del aceite en el aire debe de iniciar entre 2 ó 3 psi de diseño de caída de presión a carga total cuando está nuevo. Usualmente se recomienda cambiarlos cuando la caída de presión a través de éste se encuentre cercana a las 10 psi de diseño, pero en muchos casos es mejor cambiarlos aun antes de esa presión.

Tanto el aceite como el filtro de aceite del compresor necesitan ser cambiados. Después de ciertas horas de uso, los lubricantes empiezan a ser corrosivos y pueden degradar tanto el equipo como la eficiencia del sistema.

Para compresores rotatorios lubricados por inyección, el aceite sirve para lubricar baleros, engranes y las superficies de los engranajes internos del rotor. El aceite también actúa como sello y remueve algo del calor de compresión, por lo que es muy importante utilizar únicamente aceites que reúnan las especificaciones del fabricante.

Los filtros de aire y la tubería a la entrada del compresor también deben mantenerse limpios. Un filtro sucio puede reducir la capacidad y la eficiencia del compresor. Los filtros se pueden mantener por debajo de las especificaciones del fabricante, tomando en cuenta el nivel de contaminantes del aire alrededor de la instalación.

Si al motor eléctrico del compresor no se le da el mantenimiento adecuado, no solamente consumirá más energía, sino que podrá fallar antes de cumplir el tiempo de vida esperado. Dos aspectos que deben cuidarse en el mantenimiento de un motor son la lubricación y su limpieza.

Mucho aceite de lubricación en el motor puede ser tan perjudicial como poco aceite y pueden ser las causas más comunes para que un motor falle prematuramente. Los motores deben lubricarse de acuerdo a las especificaciones

del fabricante y esto puede hacerse entre cada 2 y cada 18 meses, dependiendo de las horas anuales de operación y de la velocidad del motor.

En motores con herrajes para engrasar baleros, primero hay que limpiar el herraje y quitar el tapón del drenaje. Se debe añadir grasa de alta calidad y se deberá de operar el motor una hora antes de colocar el tapón del drenaje. Dado que los motores necesitan disipar calor, es importante mantener limpio y sin obstrucciones el aire que pasa a través de ellos. Para motores cerrados a prueba de goteo, es vital que las aletas de enfriamiento se mantengan libres de suciedad. Los motores que no son enfriados adecuadamente pueden incrementar su temperatura y su resistencia al giro, lo cual acorta su vida e incrementa el consumo de energía.

Las bandas en "V" del motor en la transmisión también requieren mantenimiento periódico. Las bandas apretadas pueden ocasionar un excesivo deterioro en los baleros, y bandas flojas pueden deslizarse y desperdiciar energía. Bajo condiciones normales de operación, las bandas se alargan y se deterioran, por lo que es necesario estarlas ajustando. Examine y ajuste las bandas después de cada 400 horas de operación.

Las fallas en el tratamiento del aire comprimido pueden generarnos un excesivo consumo de energía, lo mismo que una calidad pobre del aire puede poner en peligro otros equipos. Todos los filtros deben mantenerse limpios. Los secadores, postenfriadores y separadores se deben de limpiar para que se mantengan de acuerdo a especificaciones de sus fabricantes.

Todas las trampas deben ser revisadas periódicamente y estar seguros que no estén pegadas. Una trampa pegada en posición de abierto fugará el aire comprimido y una trampa pegada en la posición cerrado causará que el condensado se regrese, pudiendo poner en peligro otros componentes. Los puntos de uso final donde se utilizan filtros, reguladores y lubricadores, necesitan recibir herramientas limpias, lubricadas y suministrarles aire a la presión requerida.

Los filtros deben ser inspeccionados periódicamente; un filtro obstruido incrementará su caída de presión, lo cual puede hacer que se reduzca la presión en el punto de consumo, o bien puede incrementar la presión requerida del compresor, con el consecuente consumo excesivo de energía.

Establecer un programa regular de mantenimiento, bien organizado y con un estricto seguimiento, hará que el desempeño del sistema se mantenga en su más alto nivel, por lo que se recomienda tener una persona responsable de asegurar que todo el mantenimiento sea realizado bajo este programa, documentando adecuadamente las acciones realizadas.

11 Busque otras oportunidades de mejora

En general, los sistemas de aire comprimido están compuestos por cinco subsistemas principales: 1. compresores, 2. motores, 3. controladores, 4. tratamiento de aire y 5. El subsistema de distribución de aire. Dada la importancia de cada uno de los subsistemas mencionados y de cómo deben ser trabajados para un mejor desempeño y para obtener ahorros de energía, a continuación se describe cómo se puede mantener o mejorar su desempeño.

11.1 Compresores

Existe en el mercado una gran variedad de compresores y la mayoría de ellos son diseñados para trabajar en etapas múltiples, dado que, bajo este diseño, trabajarán de forma más eficiente, debido a que ahorran energía al ir enfriando el aire entre etapas, reduciendo, con ello, el volumen y el trabajo requerido para comprimir el aire. A pesar de esto, la gran mayoría de los compresores industriales se fabrican de una sola etapa, ya que de esta forma los costos de manufactura son menores. El desempeño y la eficiencia de los 3 tipos más comunes de compresores, se explican a continuación.

11.1.1 Compresores reciprocantes de una y dos etapas

Los compresores reciprocantes de una sola etapa, generalmente, son enfriados por aire; normalmente son pequeños y no requieren de grandes cimentaciones; sin embargo, son los menos eficientes con relación a los demás. Los compresores reciprocantes de dos etapas son, generalmente enfriados por agua o aire y requieren de grandes cimentaciones. Los compresores de etapas múltiples o multietapas, usualmente son considerados como los más eficientes, pero tanto su costo inicial como su costo de instalación son altos y los requerimientos de mantenimiento también son importantes.

11.1.2 Compresores rotativos de desplazamiento positivo.

Los compresores rotativos tipo tornillo, lubricados por inyección tienen algunas ventajas por encima de los reciprocantes, incluyendo bajos costos iniciales de instalación y mantenimiento; son pequeños, emiten muy poco ruido y vibración, reducen los requerimientos de espacio en piso, proveen flujo continuo y no presentan las típicas "pulsaciones" de presión, asociadas con los compresores reciprocantes. Los compresores de dos etapas son más eficientes que los de una sola etapa. Los lubricados por inyección son generalmente menos eficientes que los compresores reciprocantes de doble acción y de dos etapas, o que los compresores centrífugos de tres etapas. En general, los compresores rotativos tipo tornillo son menos eficientes a carga parcial que los compresores reciprocantes.

11.1.3 Compresores libres de aceite.

Los compresores centrífugos inherentemente son libres de aceite, pero también hay disponibles compresores reciprocantes y rotativos tipo tornillo con este tipo de tecnología. Los compresores libres de aceite son apropiados para aplicaciones específicas o para cumplir con requerimientos y especificaciones relativas a leyes o normas ecológicas. Los compresores reciprocantes y los rotativos tipo tornillo, libres de aceite, usualmente son menos eficientes que sus respectivos hermanos lubricados por inyección.

11.1.4 Compresores centrífugos.

El uso de compresores centrífugos usualmente se limita a plantas industriales que requieren en sus procesos de altos volúmenes de aire, como la industria química y textil, refinerías de petróleo y, en general, en todas las plantas industriales con grandes sistemas. Estos compresores operan a altas velocidades y, por consiguiente, utilizan equipos más compactos y pequeños. Los compresores centrífugos de tres etapas generalmente son más eficientes que los rotativos tipo tornillo y son muy similares en eficiencia a los compresores reciprocantes de dos etapas.

Es normal encontrar compresores centrífugos con presiones de descarga de 100 psig a 100 hp, pero los más comunes son de 300 hp o más grandes con un número creciente de etapas, elevando su eficiencia en la medida en que su tamaño aumenta. Este tipo de compresores generalmente se instalan en aplicaciones donde la demanda es relativamente constante y en algunas plantas industriales son utilizados para cubrir la demanda básica, permitiendo que otro tipo de compresores sean utilizados como máquinas de ajuste para seguir el perfil o pico de la demanda.

11.2 Motores

La mayoría de los sistemas de aire comprimido industriales utilizan motores eléctricos como impulsores. En el 90% de los compresores se utilizan motores trifásicos, jaula de ardilla, a pesar de sus altos requerimientos de arranque, debido a su confiabilidad, niveles de eficiencia (85-95%, dependiendo de su tamaño) y su excelente torque de arranque. Hoy en día, la mayoría de los grandes fabricantes de sistemas de aire comprimido ofrecen paquetes de compresión con motores del tipo estándar o también de alta eficiencia.

Los motores pueden ser montados con bridas, conectados por medio de bandas 'V' o acoplados directamente, siendo esto último lo más eficiente. Independientemente del tipo de montaje, se debe tener especial atención en la alineación y en el caso de paquetes compactos que normalmente utilizan bandas 'V', éstas deben ser inspeccionadas y tensadas de acuerdo a sus especificaciones para prevenir pérdidas de potencia de transmisión.

La intensidad de los ciclos de trabajo y de carga nos dará la pauta para adquirir motores energéticamente más eficientes, en el entendido de que su mayor costo regularmente tiene un período de recuperación no mayor a un año y se paga con los ahorros de energía obtenida por el uso de estos motores; sin embargo, los usuarios deben de considerar que estos motores de alta eficiencia, en ocasiones, tienen un torque de arranque inferior al de los motores estándar y también velocidades de operación más altas, por lo que se recomienda adecuar las velocidades de operación al momento de remplazarlos.

11.3 Controladores

Se debe tener mucho cuidado con la estrategia de control de los compresores, ya que con frecuencia éste es configurado de manera errónea. Una buena estrategia de control siempre nos dará la posibilidad de que el compresor opere eficientemente a carga parcial y con ello obtener substanciales ahorros energéticos.

11.4 Equipos para tratamiento de aire y otros accesorios

El equipo de tratamiento de aire, por un lado, debe eliminar toda clase de contaminantes y, por otro lado, preparar el aire para ser utilizado por todo el sistema. El nivel de acondicionamiento de aire y los accesorios que se necesitan

para lograrlo, con frecuencia dependen directamente de los requerimientos de la calidad del aire en el proceso. Para su óptimo desempeño, estos equipos deben ser operados a las condiciones de diseño tanto como sea posible.

Secadores. El desempeño de los sistemas de aire comprimido se incrementa con el uso de los secadores; pero hay que tener cuidado, ya que los costos de inversión y sus costos de operación y de consumo de energía son tales que sólo debe de ser utilizado en la medida en que se requiera y sólo para asegurar un adecuado funcionamiento de los equipos.

Secadores de torre de absorción química. Utilizan poca energía, pero están limitados, ya que por sus características no pueden ser utilizados en sistemas que tienen altas necesidades de secado.

Secadores refrigerados. Son los más comunes, pero se debe considerar la energía requerida para mover el refrigerante, aunque este tipo de secadores tienen la facilidad de encender o apagarse de acuerdo al flujo de aire, por lo que pueden ahorrar energía.

Secadores tipo torres gemelas desecantes: Son los más efectivos para remover la humedad del aire, pero se puede perder del 10% al 18% del total del flujo de aire en la purga de condensados, por lo que se debe de considerar esta pérdida más la generada por su caída de presión.

Secadores por calentamiento. Requieren de menos purgas de aire para la regeneración del desecante o substancia higroscópica, pero se debe de considerar la energía que requiere el calentador. Algunos compresores libres de aceite utilizan su temperatura de descarga, ya que es lo suficientemente alta para regenerar el desecante.

Filtros para aire comprimido. Entre éstos, se incluyen: los filtros para partículas, utilizados para remover partículas sólidas; filtros de adsorción para remover lubricantes y humedad; y filtros absorbentes para contaminantes muy finos. Generalmente, se instalan en las líneas de los compresores para remover contaminantes, tales como partículas, condensados y lubricantes, pero se recomienda que dicha filtración sea solamente al nivel requerido por el proceso.

Tanques de almacenamiento o tanques pulmón. Estos tanques se diseñan para almacenar y entregar el aire comprimido durante picos de demanda. Por otro lado, también ayudan a atenuar las pulsaciones del compresor, separar sólidos de líquidos, proteger equipo susceptible a variaciones de presión, apoyar las estrategias de control y, en algunos casos, mantener el sistema en caso de falla eléctrica o descompostura del compresor. Su localización óptima es justo después del secador. Algunas veces se utilizan múltiples tanques, por ejemplo, uno antes del secador y otro cercano al punto donde se registren los picos de consumo.

Separadores de aceite en condensados. Dado que está regulada la descarga de aceites en el drenaje, los condensados del compresor deben ser tratados para remover estos aceites (excepto para compresores libres de aceite) antes de descargarlos en el drenaje; para ello, existen en el mercado separadores de aceite en condensados a través de membranas o tanques de sedimentación. Se debe tomar en consideración este tipo de separadores para evitar multas que pueden resultar muy costosas.

Separadores de aceite en el aire. Los separadores de aceite en el aire utilizados en los compresores rotativos tipo tornillo enfriados por aceite, deben iniciar con una caída de presión de entre 2 a 3 psi en carga máxima cuando son

nuevos y se recomienda cambiarlos cuando dicha caída de presión está entre 10 y 12 psi de diseño en el separador. En muchos casos es mejor cambiarlos con caídas de presión menores.

Sistemas de recuperación de calor. La mayoría de los sistemas de aire comprimido no emplean la recuperación de calor, a pesar de que hacerlo se justifica en el aspecto económico, ya que el tiempo de recuperación de la inversión es menor a un año. Los sistemas de recuperación de calor utilizan electricidad para los ventiladores y las bombas, pero es un hecho que éstos reducen la necesidad de combustibles empleados para calefacción y otras aplicaciones.

11.5 Subsistema de distribución de aire

El subsistema de distribución de aire está constituido por las líneas principales, mangueras y válvulas (colocadas en puntos específicos de uso), reguladores de presión, lubricadores, filtros y trampas y cualquier equipo complementario de tratamiento de aire. La mayoría de las fugas de aire ocurren dentro de este subsistema y, como ya se ha dicho, esto significa desperdicio de energía y un mayor mantenimiento.

Estos equipos deben ser seleccionados considerando las menores caídas de presión y fugas; además, se debe considerar el tamaño adecuado de cada uno de los equipos a utilizar y hacer un adecuado *lay-out* para tener un buen sistema de distribución de aire.

El sistema completo de secado, filtración y distribución deberá diseñarse y colocarse de tal manera que la caída total de presión, medida desde el compresor hasta el punto de uso final, sea menor al 10% de la presión total de descarga del compresor.

La eficiencia del sistema puede mejorarse con una correcta selección, aplicación y mantenimiento de cada componente.

12 Realice un diagnóstico energético

Entre los beneficios de realizar un diagnóstico en los sistemas de aire comprimido, está, por un lado, el identificar los costos verdaderos de producirlo y utilizarlo; por otro lado, nos sirve para identificar oportunidades que nos pueden ayudar a obtener mayor eficiencia y productividad.

Para la realización de dicho diagnóstico, es importante observar los siguientes puntos que le ayudarán a seleccionar y contratar los servicios de una empresa externa con la suficiente experiencia y capacidad técnica para la realización y ejecución de los mismos.

12.1 Aspectos generales

Como se mencionó, es muy recomendable contratar un consultor independiente para diagnosticar su sistema de aire comprimido, ya que, comercialmente hablando, sus recomendaciones serán neutrales e imparciales. Por lo anterior, informe a la empresa de su elección que no especifique ni recomiende marcas particulares y cuide que éstos no sean fabricantes de equipos relacionados con el aire comprimido.

El alcance del diagnóstico deberá ser acordado entre el usuario y el consultor, y puede incluir, tanto el estudio del suministro de aire y sus usos, como la interacción entre el suministro y la demanda. Los consultores usualmente miden la salida del sistema de aire comprimido, calculan el consumo de energía en kWh y determinan el costo anual de operación del sistema; además, deben medir las pérdidas totales por fugas y localizar aquellas que son significativas.

Todos los componentes del sistema de aire comprimido deberán ser inspeccionados individualmente, identificando las áreas con problemas. Por otro lado, los problemas como pérdida por fugas, usos inapropiados, demandas excesivas, diseños pobres o mal uso del sistema y la dinámica del sistema total, deberán ser calculados y escritos en un reporte donde se deben incluir las recomendaciones sobre las acciones que hay que implementar.

12.2 Aspectos importantes de un diagnóstico básico

Trabajos en el sistema. Los trabajos que se realizan en un diagnóstico, no solamente están en función de examinar el desempeño de cada uno de los componentes individuales, sino que, además, analizan de qué modo estos componentes interactúan tanto del lado del suministro como del lado de la demanda.

12.2.1 Nivel de tratamiento del aire.

El consultor, por lo general, examina las aplicaciones del aire comprimido y determina el nivel apropiado del tratamiento que debe tener éste según los requerimientos para la operación propia de los equipos. Si el aire no tiene el tratamiento adecuado, el consultor debe recomendar alternativas para conseguirlo pero si el aire está sobreatado, lo cual indica una pérdida de energía, se hacen las recomendaciones necesarias para modificar el sistema. En algunos casos, ciertos equipos requieren de un alto tratamiento del aire, por lo que el consultor debe recomendar un sistema que permita diferentes niveles de tratamiento en diferentes puntos del sistema.

12.2.2 Fugas y niveles de presión.

El consultor debe identificar y cuantificar las fugas en el sistema y recomendar un programa para el manejo de éstas. Por otro lado, debe determinar el menor nivel de presión posible requerido para operar los equipos de producción de forma efectiva. En muchos casos, la presión del sistema puede ser disminuida con el consecuente ahorro energético, ya que la mayoría de los sistemas tienen una o más aplicaciones críticas que pueden ser satisfechas con tanques pulmón.

12.2.3 Controladores.

El control existente en el sistema debe ser evaluado para determinar si es el más apropiado para el perfil de demanda del sistema. Se debe estimar si se puede mejorar el desempeño del sistema a través de operarlo con una estrategia de control diferente.

12.2.4 Recuperación de calor.

De ser posible, el consultor deberá de identificar aplicaciones potenciales para el uso del calor recuperado, si es que aún no es aprovechado.

12.3 Trabajos a realizar del lado de la demanda

12.3.1 Sistema de distribución.

Se debe de examinar el arreglo global de las tuberías del sistema de distribución, medir o estimar la eficiencia y las caídas de presión, evaluar la efectividad con que se desalojan los condensados de las tuberías del sistema y, si es necesario, sugerir cambios simples que permitan elevar el desempeño del sistema.

12.3.2 Perfil de la carga.

Los consultores normalmente estiman el perfil de la carga del aire comprimido en términos de cómo la demanda cambia durante todo el período de utilización. Si se tiene un perfil de carga variable, posiblemente se puedan obtener beneficios a través de una estrategia de control avanzado. Si se tienen períodos cortos de demandas altas, se pueden obtener beneficios a través de la utilización de tanques pulmón.

Para que el consultor pueda establecer el perfil de carga, deberá medir el flujo del sistema y la presión a través del sistema bajo diferentes condiciones de demanda, e irá observando los efectos de la carga en los compresores existentes. Esto puede requerir un número pequeño de mediciones dentro de un período de 24 horas, pero si la demanda varía significativamente, deberá de hacer mediciones durante algunos días y durante todo el período de utilización.

12.3.3 Equipos finales.

Los equipos y procesos que utilizan aire comprimido también deben ser estudiados. En algunos casos, se harán recomendaciones tales como especificar que los equipos sean operados a presiones menores. Un consultor también puede recomendar el reemplazo de equipo neumático por equipo que utilice otro tipo de servicio diferente al aire. Por otro lado, las aplicaciones con presiones críticas deben ser estudiadas en detalle para poder recomendar, en su caso, el uso de tanques pulmón y algunas otras modificaciones.

12.4 Trabajos a realizar del lado del suministro

12.4.1 Sistema de compresión

Los compresores se evalúan en términos de su adecuada aplicación y, en general, por sus condiciones y por su apariencia. Usualmente la eficiencia de los compresores es estimada basándose en los datos del fabricante y en las condiciones del lugar donde fue colocado. La instalación también es evaluada en términos de su localización, ventilación, conexiones, etc.

12.4.2 Filtros

Los filtros son examinados por su grado de limpieza y por su compatibilidad con la aplicación. Se mide la caída de presión a través de ellos para estimar sus pérdidas y recomendar, de acuerdo a los resultados, un programa de mantenimiento para su limpieza, o bien, la sustitución de éstos por filtros de mayor desempeño.

12.4.3 Post-enfriadores y separadores.

Se debe medir y evaluar la eficiencia de los postenfriadores y, en los separadores, evaluar la eficacia del enfriamiento y de la separación de los condensados para, en ambos casos, poder recomendar modificaciones factibles o sistemas alternativos.

Secadores. Se debe valorar la conveniencia del sistema de secado, basándose en las aplicaciones finales de las instalaciones. Se miden y se evalúan el tamaño del secador y su caída de presión y, si es necesario, se recomiendan modificaciones o reemplazos.

12.4.4 Trampas automáticos.

Se evalúa la localización, la aplicación y la eficacia de los drenes, tanto de lado de la demanda como del lado del suministro y, si es necesario, se indican las recomendaciones necesarias.

12.4.5 Tanques pulmón.

Se debe de evaluar la eficacia de los tanques pulmón en términos de su localización y tamaño, revisando adicionalmente las trampas para el drenaje de condensados para ver si operan apropiadamente. También se debe de investigar las soluciones realizadas de colocar tanques pulmón para controlar situaciones de demandas altas de corto tiempo.

12.5 Otros

Por último, el consultor debe preparar un reporte final que debe contener un diagrama de flujo detallado y las evaluaciones financieras, que deben de incluir el monto de las inversiones de las medidas sugeridas y su tiempo de recuperación.

13 Referencias

- 1 http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/tip_sheets_compressed_air.html
- 2.- <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/8compresores/compresores98.htm>
- 3.- <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/8compresores/compresores98.htm>
- 4.- <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/8compresores/compresores98.htm>