

# Técnica de aire comprimido

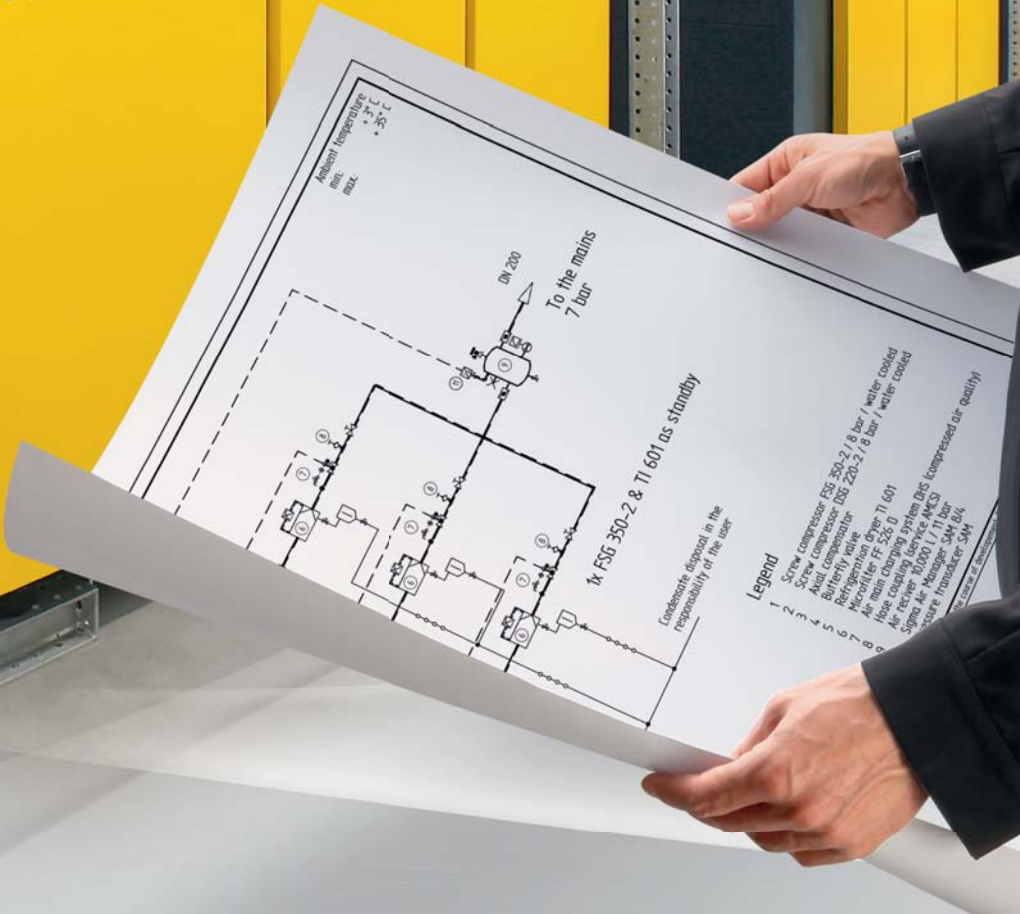
Fundamentos y consejos prácticos



Kompressor 5

KAESER

FSD 571



# Índice

## Nociones básicas

<b>Capítulo 1</b>	Conceptos fundamentales de la producción de aire comprimido .....	4
<b>Capítulo 2</b>	Tratamiento económico del aire comprimido .....	6
<b>Capítulo 3</b>	¿Por qué es necesario secar el aire comprimido? .....	8
<b>Capítulo 4</b>	Evacuación correcta del condensado .....	10
<b>Capítulo 5</b>	Tratamiento económico y seguro del condensado .....	12
<b>Capítulo 6</b>	Regulación eficaz de los compresores .....	14
<b>Capítulo 7</b>	Coordinación óptima de compresores para ahorrar energía .....	18
<b>Capítulo 8</b>	Ahorro de energía gracias a la recuperación del calor .....	20
<b>Capítulo 9</b>	Nueva planificación de la red de aire comprimido .....	22
<b>Capítulo 10</b>	Saneamiento de la red de aire comprimido .....	24
<b>Capítulo 11</b>	Análisis de la demanda de aire (ADA) – cálculo de la situación real .....	26
<b>Capítulo 12</b>	Cálculo de la solución más económica .....	30
<b>Capítulo 13</b>	Refrigeración eficiente de la estación de aire comprimido .....	32
<b>Capítulo 14</b>	Cómo mantener a largo plazo la fiabilidad y la optimización de los costos .....	34

## Consejos prácticos

<b>Consejo 1</b>	Ahorro gracias a la presión óptima .....	40
<b>Consejo 2</b>	Presión correcta en la conexión de aire comprimido .....	42
<b>Consejo 3</b>	Distribución eficiente del aire comprimido .....	44
<b>Consejo 4</b>	Tuberías de la estación de aire comprimido .....	46
<b>Consejo 5</b>	Emplazamiento correcto de los compresores .....	48
<b>Consejo 6</b>	Ventilación de la sala de compresores (entrada de aire) .....	49
<b>Consejo 7</b>	Ventilación de la sala de compresores (salida de aire) .....	50

## Anexo

Anexo 1	Nomograma – Cálculo del diámetro interior de las tuberías .....	50
Anexo 2	Ejemplos de cuestionarios para el Kaeser Energy Saving System .....	52

# Introducción



Thomas Kaeser



Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Hace más de dos mil años, el famoso filósofo Sócrates afirmaba: "Solo existe un bien para el hombre: el saber, y solo un mal: la ignorancia".

Esta frase de Sócrates, uno de los padres espirituales de occidente, tiene más de 2000 años, pero hoy tiene más vigencia que nunca, ya que el aumento de la conexión a las redes y de su complejidad hace que el conocimiento sea una de las materias primas más importantes del futuro - materia prima que crece exponencialmente, de modo que solo será accesible y útil si cada uno de nosotros reconocemos la necesidad de capacitarnos y reinventarnos personal y constantemente. Y como hoy por hoy nada parece ser más constante que el cambio, con la multiplicidad y celeridad que le imprimen los avances tecnológicos y la globalización económica, se nos exige nuevas respuestas y estrategias de solución. No cabe duda que esas exigencias se deben reconocer y aprovechar como oportunidades para tener más éxito en el futuro.

En el campo de la técnica del aire comprimido, por ejemplo, hace mucho tiempo que no es suficiente saber cómo se fabrican, instalan y ponen en funcionamiento compresores de alto desempeño.

Para utilizar el aire comprimido como un medio energético eficiente, se debe considerar la estación de compresores en su conjunto, con sus distintas correlaciones e interacciones dentro de ella, así como su conexión con el resto del sistema de producción industrial.

Por eso, KAESER KOMPRESSOREN respalda la capacitación de sus clientes. Para ello pone a su disposición expertos KAESER calificados y con experiencia que se trasladan durante todo el año a todas sus subsidiarias con el fin de compartir sus conocimientos sobre producción y uso eficiente del aire comprimido en congresos, conferencias y seminarios. Además, KAESER también cuenta con publicaciones en distintos medios especializados.

En la presente edición le brindamos un resumen del saber de estos grandes expertos. Se trata de una introducción a la técnica del aire comprimido con una sólida base científica pero de fácil comprensión que brinda además valiosos consejos prácticos para los usuarios de los equipos neumáticos y del aire comprimido. Al leerlo, se dará cuenta de que con frecuencia hasta las modificaciones más pequeñas de un sistema de aire comprimido pueden permitirle mejorar notablemente la eficiencia y la disponibilidad de este medio energético tan poderoso.

Capítulo 1

# Conceptos fundamentales de la producción de aire comprimido

Con el aire comprimido, los detalles son muy importantes y, aunque pequeños, sus consecuencias pueden ser positivas o negativas. Producido correctamente, el aire comprimido puede ser muy rentable, de lo contrario resulta bastante costoso. En este primer capítulo aclararemos el significado de cuatro conceptos relacionados con el aire comprimido y haremos hincapié en algunos puntos que se deben tener en cuenta.

### 1. Caudal

El caudal es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor comprime y suministra a la red de aire comprimido. Las normas DIN 1945, parte 1, anexo F e ISO 1217, anexo C determinan la medición correcta del caudal. Para medirlo, nos remitimos a la Figura 1: Primero se miden la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire a la entrada del equipo. A continuación, se mide la presión máxima de trabajo, la temperatura del aire comprimido y el volumen del aire comprimido a la salida del compresor. Finalmente, se recalcula el V2 a la salida de aire comprimido con ayuda de la ecuación de gas (ver fórmula), según las condiciones de aspiración

$$V_1 = \frac{V_2 \times P_2 \times T_1}{[P_1 - (P_D \times F_{rel})] \times T_2}$$



Figura 1: Medición del caudal según la ISO 1217, anexo C (DIN 1945, anexo F)

del aire. El resultado de este cálculo es el caudal del compresor que no se debe confundir con el caudal de la unidad compresora.

### Atención:

Las normas DIN 1945 e ISO 1217 solo se refieren a los caudales de las unidades compresoras.

### 2. Potencia suministrada por el motor

Esta es la potencia que el motor de accionamiento del compresor transmite mecánicamente al eje de accionamiento. La potencia óptima es aquella con la que se obtiene el mejor rendimiento eléctrico del motor sin sobrecargarlo y con la que se alcanza el factor de rendimiento cos φ. Se encuentra en el campo de la potencia nominal del motor, que puede consultarse en la placa de identificación del motor eléctrico.

**¡Atención! Si la potencia suministrada por el motor difiere mucho de la potencia nominal, el compresor estará consumiendo demasiada energía y se verá sometido a un desgaste excesivo.**

### 3. Potencia eléctrica consumida

El consumo eléctrico es la potencia que el motor de accionamiento del compresor consume de la red con una carga mecánica concreta del eje del motor (potencia suministrada por el

motor). La potencia consumida por el motor es igual a la potencia suministrada al eje más las pérdidas eléctricas y mecánicas internas del motor producidas en los rodamientos del motor y por su ventilación. El consumo ideal de potencia en el punto nominal se calcula con la siguiente fórmula:

$$P = U_n \times I_n \times \sqrt{3} \times \cos \phi_n$$

Un, In, y cos φn están indicados en la placa de identificación del motor eléctrico.

### 4. Potencia específica

La potencia específica se define como la relación entre la potencia eléctrica consumida y el caudal suministrado a una presión de trabajo determinada (figura 2). La potencia eléctrica consumida por un compresor es la suma de las potencias eléctricas consumidas por todos los accionamientos del compresor, como el motor principal, el motor del ventilador, el motor de la bomba de aceite, la calefacción auxiliar, etc. Si se necesita la potencia específica para realizar cálculos de rentabilidad, ésta deberá referirse al compresor completo a la presión de trabajo máxima. Se dividirá el consumo total de electricidad a presión máxima entre el caudal a presión máxima:

$$P_{spec} = \frac{\text{Potencia eléctrica consumida}}{\text{caudal}}$$

### 5. IE – la nueva fórmula para un accionamiento con menos consumo

En 1997 se inició en los EE.UU. la clasificación de los motores asíncronos trifásicos con la ley Energy Policy Act (EPACT). Más tarde se inició una clasificación de eficiencia también en Europa. Desde 2010 está vigente el estándar IEC internacional para motores eléctricos. Las clasificaciones

y los supuestos legales han propiciado un notable mejoramiento de la eficiencia energética de los motores eléctricos incluidos en las clases Premium. Los motores de eficiencia mejorada ofrecen las siguientes ventajas:

#### a) Bajas temperaturas de trabajo

Las pérdidas internas de desempeño del motor provocadas por calentamiento o por rozamientos pueden ascender hasta un 20 % en motores pequeños, y entre un 4 % y un 5 % en motores de 160kW en adelante. Los motores IE3/IE4 presentan un calentamiento mucho menor y, por tanto, menos pérdidas térmicas (figura 3):

Un motor convencional registra un calentamiento de aprox. 80K y conserva una reserva térmica de 20K funcionando a carga normal con respecto a un aislamiento F, mientras que un motor IE sólo se calienta aprox. 65K en las mismas condiciones, manteniendo una reserva de 40K.

#### b) Mayor duración

La reducción de la temperatura de trabajo supone una carga térmica menor del motor, de los rodamientos y de la caja de bornes. Como consecuencia, se prolonga la vida útil del motor.

#### c) Un 6 % más de aire comprimido con menos consumo de energía

Menos pérdidas de calor se traducen también en un ahorro energético. KAESER ha ajustado los compresores perfectamente a las posibilidades de los motores IE, logrando aumentar con ello en un 6% el caudal y en un 5% la potencia específica. El resultado: un mejor desempeño, periodos de marcha de los compresores más cortos y menor consumo por metro cúbico de aire comprimido suministrado.

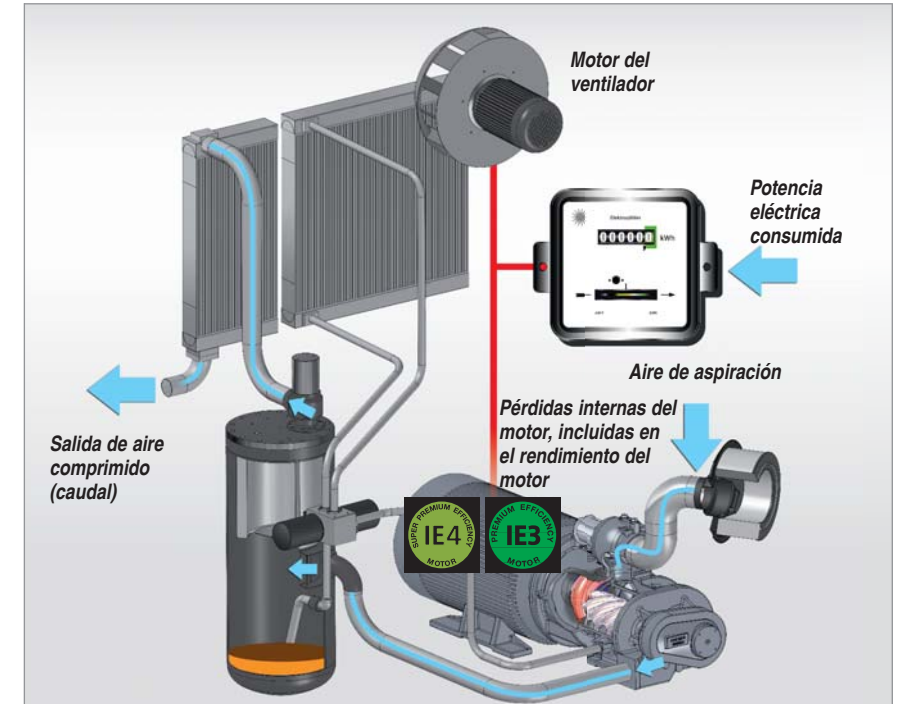


Figura 2: Estructura básica de un compresor de tornillo, cálculo de la potencia específica

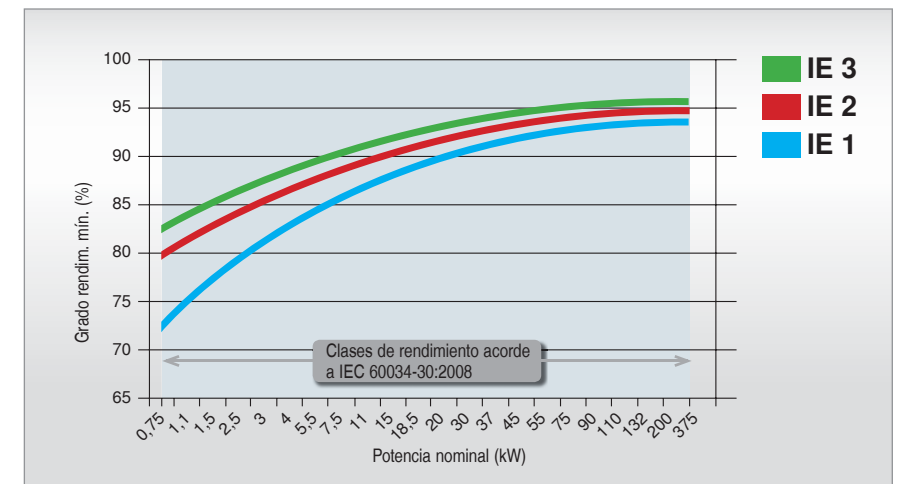


Figura 3: El estándar IEC – la nueva clasificación de eficiencia para motores eléctricos. Los motores IE3 son obligatorios en la UE desde el 1 de enero de 2015. Entretanto se ha creado una clase de eficiencia aún más avanzada, la IE4.

# Tratamiento eficiente del aire comprimido

Ante la pregunta de cuál es el mejor compresor para producir aire comprimido libre de aceite hay una cosa que está clara – independientemente de lo que digan los distintos fabricantes: Es posible producir aire comprimido libre de aceite y de alta calidad tanto con compresores de tornillo seco como de tornillo lubricado. Por tanto, el punto decisivo al elegir el sistema no es otro que la economía.

## 1. 1. ¿Qué significa aire comprimido "libre de aceite"?

De acuerdo con la ISO 8573-1, el aire comprimido sólo podrá calificarse como libre de aceite si su contenido residual (incluyendo el vapor de aceite) es inferior a 0,01 mg/m³. Estamos hablando de cuatro centésimas partes del contenido normal en el aire de la atmósfera. Esta cantidad es tan ínfima, que apenas se puede medir.

¿Y qué decir de la calidad del aire de aspiración? Naturalmente, dependerá de las condiciones ambientales. El nivel de hidrocarburos puede alcanzar entre 4 y 14 mg/m³ en zonas normales, debido simplemente a las emisiones de la industria y del tráfico. En zonas industriales, donde se utiliza aceite como medio de lubricación, de refrigeración y de procesos, el contenido de aceite mineral puede superar los 10 mg/m³.

También se pueden encontrar otros elementos contaminantes, como hidrocarburos, dióxido de azufre, hollín, metales y polvo.

## 2. 2. ¿Por qué tratar el aire comprimido?

Todos los compresores, sean del tipo que sean, funcionan como una aspiradora gigante y aspiran impurezas que luego comprimen junto al aire y que llegarán a la red de aire comprimido si no se lleva a cabo el tratamiento correspondiente.

### a) Compresores "libres de aceite"

Este punto es importante, sobre todo, para los compresores que funcionan sin aceite. Debido a la contaminación de la que hemos hablado, no es posible que un compresor equipado tan sólo con un filtro de polvo de 3 micrones suministre aire comprimido libre de aceite. Los compresores libres de aceite no llevan más que este filtro de polvo como componente de tratamiento.

### b) Compresores enfriados por fluido o aceite

En estos equipos, las sustancias agresivas son neutralizadas por el fluido (aceite) refrigerante, que arrastra además las partículas sólidas contenidas en el aire comprimido.

### 3. Sin tratamiento es imposible definir la calidad del aire comprimido

A pesar de que con este sistema se produce un aire comprimido de mayor pureza, tampoco se puede prescindir del tratamiento en este caso. En las condiciones habituales de aspiración, es imposible lograr un aire comprimido que responda a las exigencias de calidad que define la norma ISO 8573-1 para la calificación de aire "libre de aceite" simplemente con la compresión libre de aceite o con aceite debido a todas las impurezas que suelen encontrarse en el aire.

La economía en la producción del aire comprimido depende de los campos de presión y de caudal, y éstos dependen a su vez del tipo de compresor utilizado. La base de todo tratamiento debe ser un secado suficiente del aire comprimido. El secado con un secador refrigerativo es casi siempre el sistema más económico (ver también capítulo 3, pág. 9).

### 4. Tratamiento con el sistema de aire puro KAESER

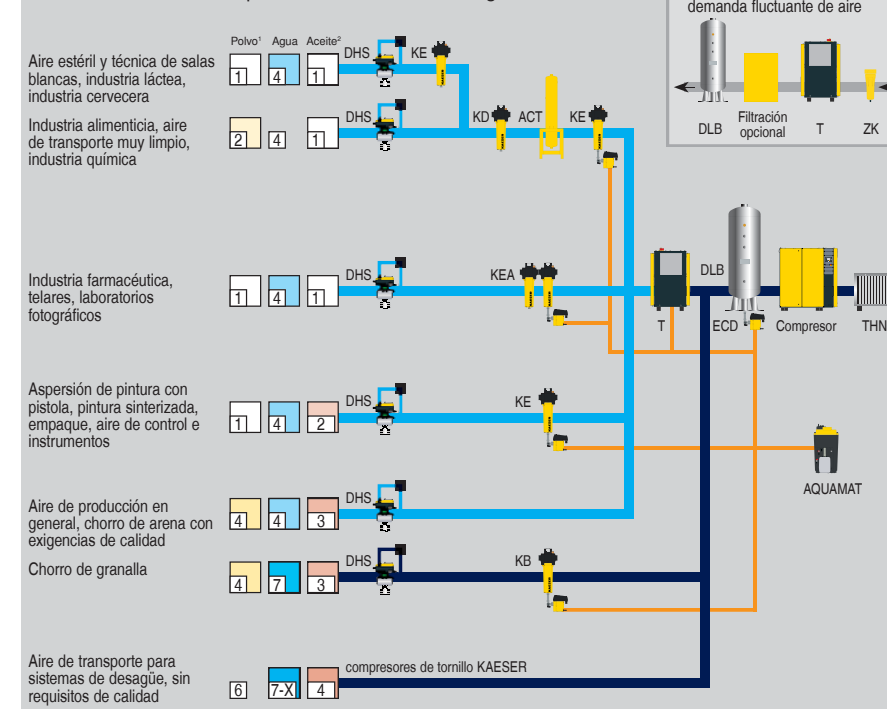
Los compresores de tornillo modernos

enfriados por fluido operan con un mayor rendimiento de aprox. 10% que los compresores sin aceite. El sistema de aire puro KAESER para este tipo de compresores permite ahorrar hasta un 30% en los costos de producción de aire comprimido sin aceite. El contenido residual de aceite que se alcanza gracias a este sistema es de tan sólo 0,003 mg/m³, muy por debajo del valor exigido por la norma ISO para la clase de calidad 1 (respecto al aceite residual). Este sistema incluye todos los componentes de tratamiento necesarios para obtener la calidad exigida para el aire comprimido. Dependiendo de la aplicación, se utilizarán secadores refrigerativos o de adsorción (ver también capítulo 3, pág. 9) y distintas combinaciones de filtros. Gracias a este tratamiento, es posible producir un aire comprimido seco, libre de partículas e incluso técnicamente libre de aceite o estéril de acuerdo a la norma ISO y sus clases de calidad de aire comprimido (Figura 1).

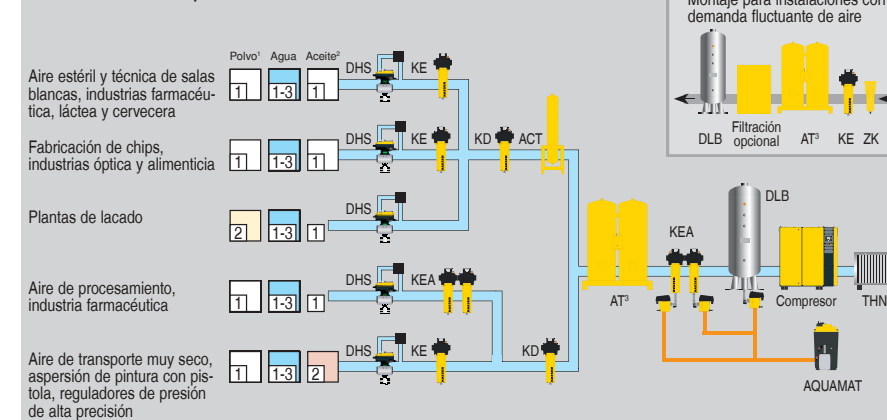
## Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades:

Ejemplos de uso: Grados de tratamiento según la ISO 8573-1 (2010)

### Tratamiento del aire comprimido con secadores refrigerativos



### Tratamiento de aire comprimido con secador desecante



<sup>1)</sup> Clase de partículas que se logra con entubado y arranque inicial realizados por un profesional.  
<sup>2)</sup> Contenido total de aceite que se logra con los aceites para compresores recomendados y aire de aspiración sin cargas.  
<sup>3)</sup> A continuación de los secadores desecantes regenerados por calor, es preciso instalar filtros de alta temperatura y, si es necesario, un posenfriador.  
<sup>4)</sup> Para aplicaciones críticas, que exijan una gran pureza del aire comprimido (por ejemplo, en los sectores de la electrónica y la óptica) es recomendable instalar una combinación extra de filtros KB y KE.

Explicaciones	
ACT	Torre de carbón activado
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Secador de adsorción
DHS	Sistema de mantenimiento de la presión
DLB	Tanque de almac. de aire comprimido
ECD	Drenaje electrónico ECO-DRAIN
KA	Filtro de carbón activado
KB	Filtro coalescente básico
KBE	Combinación de filtrado - Extra
KD	Filtro de partículas
KE	Filtro coalescente extra
KEA	Combinación de filtrado - Carbón extra
T	Secador refrigerativo
THNF	Prefiltro de alta polución
ZK	Separador centrífugo

Clases de calidad de aire comprim. según la norma ISO 8573-1(2010):

Partículas / polvo			
Clase	Nº máx. de partículas por m³ Tamaño de part. d en µm *		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	no definido	≤ 90.000	≤ 1.000
4	no definido	no definido	≤ 10.000
5	no definido	no definido	≤ 100.000
Clase Concentración partículas C <sub>p</sub> en mg/m³ *			
6	0 < C <sub>p</sub> ≤ 5		
7	5 < C <sub>p</sub> ≤ 10		
X	C <sub>p</sub> > 10		

Agua	
Clase	Punto de rocío de presión, en °C
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Clase Concentración agua líquida C <sub>w</sub> en g/m³ *	
7	C <sub>w</sub> ≤ 0,5
8	0,5 < C <sub>w</sub> ≤ 5
9	5 < C <sub>w</sub> ≤ 10
X	C <sub>w</sub> > 10

Aceite	
Clase	Concentración de aceite total (líquido, aerosol + gas), en mg/m³ *
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	≤ 5,0

\*) En condiciones de referencia 20 °C, 1 bar(abs), 0% humedad relativa.

Figura 1: Este esquema ilustrativo figura actualmente en la contraportada de los catálogos de compresores de tornillo KAESER. Con base en él, se puede elegir la combinación correcta de equipos de tratamiento de aire comprimido para cada caso en particular.

# ¿Por qué es necesario secar el aire comprimido?

Cuando el aire se enfría, como sucede después de la compresión, el vapor de agua se condensa. Esta es la razón por la cual un compresor con un caudal de 5 m<sup>3</sup>/min (ref. a +20 °C de temperatura ambiente, un 70 % de humedad relativa y 1 bar<sub>abs</sub>) "produce" en cada turno de ocho horas unos 30 litros de agua. Este condensado se debe eliminar del sistema para evitar daños y averías. El secado económico y ecológico del aire comprimido es una parte esencial de su tratamiento.

### 1. Un ejemplo práctico

Si un compresor de tornillo enfriado por aceite aspira 10 m<sup>3</sup> de aire directamente de la atmósfera a 20 °C y con una humedad relativa del 60 %, ese aire contendrá aprox. 100g de vapor de agua. Si el aire se comprime con una relación 1:10 a una presión absoluta de 10 bar, obtendremos 1 metro cúbico de servicio. Pero si la temperatura alcanza los 80 °C después de la compresión, el contenido de agua del aire podrá llegar a los 290g por metro cúbico. Como tan sólo hay aprox. 100g, el aire tendrá una humedad relativa del 35% más o menos, o sea, que estará bastante seco, por lo que no podrá formarse condensado. En el posenfriador del compresor la temperatura del aire comprimido vuelve a descender de 80 a 30 °C aproximadamente. A esa tem-

peratura, un metro cúbico de aire no puede retener más de 30 g de agua, por lo que los 70g restantes se condensan y pueden separarse. En una jornada de trabajo de 8 horas se pueden formar cerca de 35 litros de condensado. Otros 6 litros diarios se separan en el secador refrigerativo conectado a continuación. En estos secadores, el aire comprimido se enfría primero a +3 °C, y luego se recalienta hasta la temperatura ambiente. Esto significa un déficit de humedad de un 20% aprox. y, en consecuencia, un aire comprimido de mejor calidad, más seco (Figura 1).

### 2. La humedad del aire

El aire que nos rodea siempre contiene una cantidad mayor o menor de humedad, es decir, de agua. Esta humedad depende de la temperatura de cada momento. Por ejemplo, un aire saturado de vapor de agua al 100% a una temperatura de +25 °C puede contener casi 23g de agua por metro cúbico.

### 3. Formación de condensado

El condensado se forma cuando se reducen el volumen del aire y su temperatura al mismo tiempo, ya que estos dos fenómenos reducen la capacidad de saturación del aire. Justamente eso es lo que sucede en la unidad compresora y en el post-enfriador de un compresor.

### 4. Algunos conceptos básicos explicados brevemente

#### a) Humedad absoluta

Entendemos por humedad absoluta la cantidad de vapor de agua contenida en el aire expresada en g/m<sup>3</sup>.

#### b) Humedad relativa (H<sub>rel</sub>)

La humedad relativa indica el grado de saturación del aire, es decir, la relación entre su contenido real de agua y el punto de saturación real (100% H<sub>rel</sub>). Esta humedad depende de la temperatura de cada momento: El aire caliente puede contener una cantidad de vapor de agua mayor que el aire frío.

#### c) Punto de rocío atmosférico

El punto de rocío atmosférico es la temperatura a la cual el aire alcanza el grado de saturación del 100% (H<sub>rel</sub>) a presión atmosférica (condiciones ambientales).

#### d) Punto de rocío a presión

Por punto de rocío de presión entendemos la temperatura a la que el aire comprimido alcanza su punto de saturación (100% H<sub>rel</sub>) a su presión absoluta. Refiriéndonos al ejemplo descrito arriba: El aire, a una presión de 10 bar(a), tendrá a un punto de rocío de presión de +3 °C una humedad absoluta de 6g por metro cúbico de trabajo. Si liberamos uno de los metros cúbicos de trabajo del ejemplo, com-

primidos a 10 bar(a), hasta alcanzar la presión atmosférica, su volumen se multiplicará por diez. Los 6g de vapor de agua no varían, pero se reparten en ese volumen mayor. Cada metro cúbico relajado contendría, por tanto, 0,6g de agua. Esta humedad se correspondería con un punto de rocío atmosférico de -24 °C.

### 5. ¿Secado económico y ecológico del aire comprimido con secador refrigerativo o de adsorción?

Las nuevas regulaciones sobre agentes refrigerantes no convierten a los secadores de adsorción en una alternativa real frente a los secadores refrigerativos, ni desde el punto de vista económico ni desde el ecológico. Los secadores refrigerativos solamente consumen un 3% de la energía que necesita el compresor para producir el aire comprimido, mientras que los secadores de adsorción consumen entre un 10 y un 25 % o incluso más. Por eso, será preferible optar por un secador refrigerativo siempre que sea posible.

El uso de secadores de adsorción solo es recomendable si se requiere aire comprimido extraordinariamente seco, con puntos de rocío de hasta -20, -40 o -70 °C (Figura 2). Con frecuencia, los sistemas de aire comprimido sufren

Procedimiento de secado	Punto de rocío °C	Potencia específica típica consumida kW / m <sup>3</sup> /min **)
Secador refrigerativo	+3	0,1
HYBRITEC	+3 / -40 *)	0,2 0,3
Secador de adsorción regenerado en caliente	-40	0,5 - 0,6
Secador de adsorción regenerado en frío	-20 -70	1,4 - 1,6

Figura 2: Según el nivel de pureza requerido se aplican diferentes procedimientos de secado



Figura 1: En la producción, almacenaje y tratamiento del aire comprimido se forma condensado (datos referidos a 10 m<sup>3</sup>/min, 10 bar<sub>abs</sub>, 8 h, 60% H<sub>rel</sub> y 20 °C)

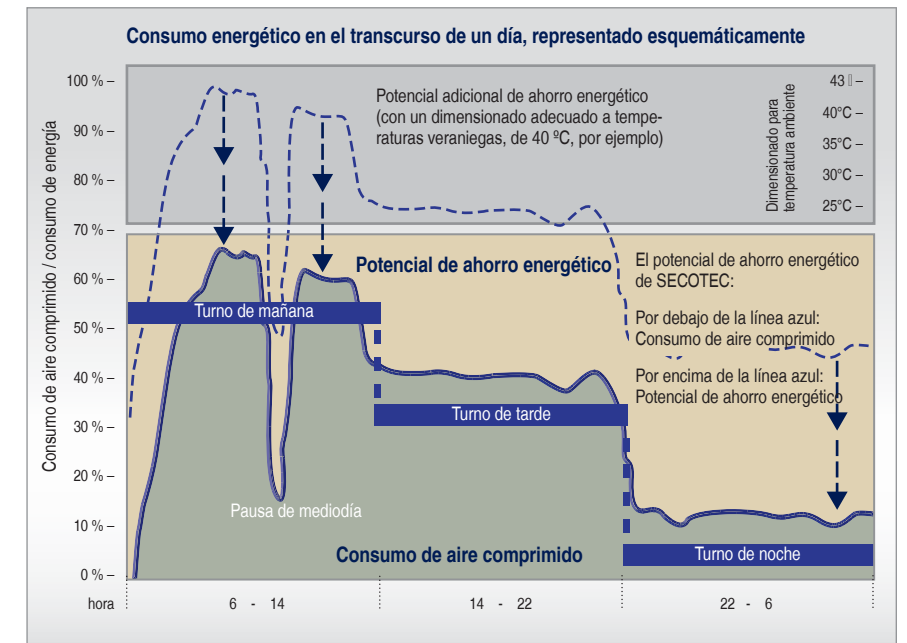


Figura 3: Potenciales de ahorro de energía de secadores refrigerativos con regulación por parada diferida

fuertes oscilaciones de demanda a lo largo del día. A lo largo del año también se producen variaciones que van acompañadas además de grandes cambios de temperatura. Por eso, los secadores de aire comprimido se deben dimensionar contando con las peores condiciones imaginables: la presión más baja, el consumo máximo de aire comprimido, así como las temperaturas ambiente y de entrada del aire comprimido más altas.

Antes, los secadores funcionaban continuamente, pero esto suponía un gran despilfarro de energía, sobre todo en las fases de carga parcial. Los secadores de aire comprimido modernos con control cíclico o parada diferida adaptan su consumo a las variaciones de la demanda, manteniendo constante la buena calidad del aire comprimido (Figura 3). De esta forma es posible ahorrar hasta un 50 % de energía en promedio anual.

El uso de una técnica de alta eficiencia energética es importante sobre todo para alcanzar puntos de rocío por

debajo de cero grados centígrados, ya que los secadores de adsorción usados para ello suelen consumir mucha energía.

El sistema HYBRITEC combina eficientemente dos procedimientos de secado para reducir notablemente el consumo de energía: Está conformado por un secador refrigerativo y un secador de adsorción. El aire comprimido pasa primero por el secador refrigerativo, del que sale con un punto de rocío de +3 °C. Tras este secado previo, el secador de adsorción lo deja con un punto de rocío -40 °C, para lo cual consume mucho menos energía.

## Capítulo 4

# Evacuación correcta del condensado

El condensado es un subproducto inevitable del aire comprimido. Un compresor de 30 kW con un caudal de 5 m<sup>3</sup>/min puede producir aprox. 20 litros de condensado por turno en condiciones normales de servicio. Este condensado debe eliminarse del sistema para evitar averías y daños por corrosión.

En este capítulo encontrará información sobre cómo evacuar correctamente el condensado al menor costo posible.



Figura 1: En todos los sistemas de aire comprimido se forma condensado en puntos concretos

## 1. Evacuación de condensados

En todos los sistemas de aire comprimido se forma condensado en puntos concretos y con diferentes sustancias contaminantes (Figura 1). Por esta razón, es imprescindible contar con un sistema confiable de evacuación del condensado. Su buen o mal funcionamiento tendrá una repercusión notable en la calidad del aire comprimido, en la seguridad operativa y en la rentabilidad del sistema de aire comprimido.

### a) Puntos de recolección y evacuación

Se empieza a coleccionar y evacuar mediante elementos mecánicos instalados en el sistema de aire comprimido. Gracias a estos elementos se elimina de plano un 70-80 % del condensado total, siempre que los compresores cuenten con un buen post-enfriador.

#### Separador centrífugo:

Se trata de un separador mecánico que elimina el condensado de la corriente de aire sirviéndose de la fuerza centrífuga (Figura 2). Para garantizar un funcionamiento óptimo, convendrá que cada compresor tenga su propio separador centrífugo.

#### Refrigerador intermedio:

En los compresores de dos etapas también se recoge condensado en

los separadores de los refrigeradores intermedios.

#### Tanque de almacenamiento de aire comprimido:

Aparte de su función principal como depósito de aire comprimido, el tanque también ayuda a separar el condensado por medio de la fuerza de gravedad (Figura 1). Con las dimensiones correctas (caudal del compresor/min : 3 = tamaño del tanque en m<sup>3</sup>), será tan eficaz como el separador centrífugo. A diferencia del separador centrífugo, puede instalarse en la línea principal de aire comprimido, siempre que su entrada de aire se encuentre en la parte inferior y la salida en la superior. Además, el tanque enfría el aire comprimido gracias a su gran superficie de derivación térmica, lo cual favorece la separación del condensado.

#### "Trampas" de agua en la línea de aire comprimido:

Para evitar un flujo incontrolado del condensado en la red, será conveniente que todos los puntos de entrada y salida del sector húmedo se conecten desde arriba o lateralmente.

Las salidas controladas de condensado hacia abajo, las llamadas "trampas" de agua, permiten evacuar el condensado de la red principal. A una velocidad

de flujo de 2 a 3 m/s y con el diseño correcto, las trampas de agua pueden separar de la corriente el condensado con la misma efectividad que los tanques de almacenamiento (Figura 1).

### b) Secador de aire comprimido

Aparte de los puntos de acumulación y evacuación de condensado ya nombrados, existen otros en el campo del secado.

#### Secador refrigerativo:

Es posible separar condensado en el secador refrigerativo gracias al enfria-



Figura 2: Separador centrífugo con purgador de condensados

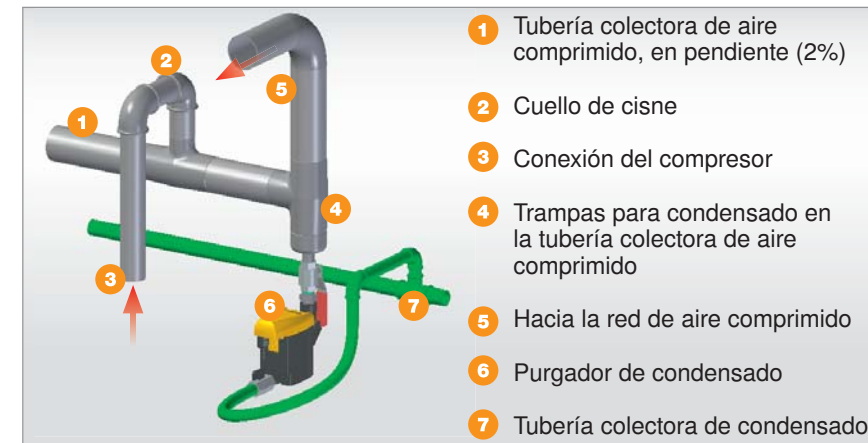


Figura 3: Trampa de condensado con purgador en la parte húmeda de un sistema de aire comprimido

miento del aire, que hace que el vapor de agua se condense y se precipite.

#### Secador de adsorción:

Gracias al notable enfriamiento que experimenta el aire comprimido en la red, es mucho el condensado que se separa de primer plano en el prefiltro del secador de adsorción. Luego, en el interior del secador de adsorción, el agua solo se encuentra en forma de vapor debido a las condiciones de presión parcial.

### c) Evacuación descentralizada

Si el sistema no cuenta con un secado centralizado del aire, el condensado se precipitará en grandes cantidades en los separadores instalados poco antes de los puntos de consumo, que exigen un gran trabajo de mantenimiento

## 2. Sistemas de evacuación

Actualmente se utilizan básicamente tres sistemas:

### a) Drenajes por flotador

Los drenajes con flotador son quizá los más veteranos en materia de purga y se crearon para sustituir el drenaje manual, poco económico y seguro. Pero este sistema (Figura 4) pronto empezó a mostrar puntos débiles debido a las impurezas contenidas en el aire comprimido, que provocaban

- 1 Tubería colectora de aire comprimido, en pendiente (2%)
- 2 Cuello de cisne
- 3 Conexión del compresor
- 4 Trampas para condensado en la tubería colectora de aire comprimido
- 5 Hacia la red de aire comprimido
- 6 Purgador de condensado
- 7 Tubería colectora de condensado

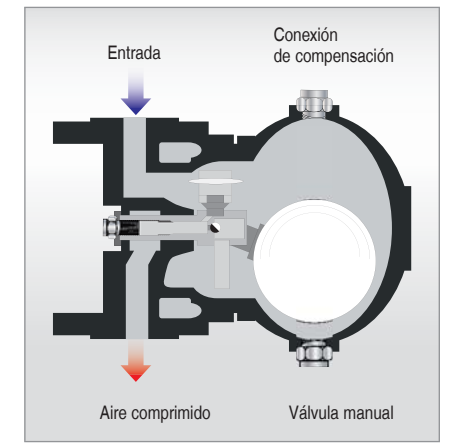


Figura 4: Purgador con flotador para el condensado del aire comprimido

averías con frecuencia y hacían preciso un mantenimiento intensivo.

### b) Válvula solenoide

Las válvulas solenoides con temporizador son sistemas más seguros que los drenajes con flotador, pero deben limpiarse con frecuencia. Además, si los tiempos de apertura de la válvula están mal ajustados, se producirán pérdidas de presión, lo cual significará un mayor consumo energético.

### c) Drenajes de condensado controlados según el nivel

En la actualidad se utilizan principalmente drenajes con control inteligente del nivel (Figura 5). Un drenaje electrónico sustituye el flotador, que tantas averías sufría: Y con esto se evitan muchas averías por suciedad o por desgaste mecánico. También se evitan las pérdidas de presión típicas del sistema con flotador gracias a un cálculo y un ajuste exacto de los tiempos de apertura de las válvulas. La autosupervisión automática y la posibilidad de transmitir señales son otras dos ventajas de este sistema.

### d) Instalación correcta

Debe instalarse siempre una línea corta con llave de bola entre el separador y el drenaje de condensado (Figuras 2 y 3).



Figura 5: Purgador de condensado con regulación electrónica según el nivel (modelo ECO-RAIN)

Esta llave permitirá cerrar el paso del condensado cuando haya que realizar trabajos de mantenimiento en el drenaje sin impedir que la estación de aire comprimido siga funcionando con normalidad.

## Tratamiento eficiente y seguro del condensado

**El condensado que se forma durante la producción de aire comprimido es mucho más que vapor de agua condensado. Los compresores funcionan como una aspiradora gigante: Con el aire atmosférico aspiran también impurezas, que pasan a formar parte del condensado de manera concentrada.**

### 1. ¿Por qué es necesario tratar el condensado?

Los usuarios cuyo condensado llegue a la alcantarilla sin ser tratado se arriesgan a pagar multas elevadas, ya que, el condensado resultante de comprimir aire es una mezcla nociva para el ambiente. El condensado puede contener, además de partículas de polvo, dióxido de azufre, cobre, plomo, hierro y otras sustancias debido a la contaminación del aire que aspira el compresor. En Argentina, la Ley sobre el Régimen Hidráulico es determinante para la eliminación del condensado. Esta ley prescribe que las aguas que contengan contaminantes deberán tratarse de acuerdo a "las reglas técnicas reconocidas". Esto afecta a cualquier tipo de condensado, también al que producen los compresores libres de aceite.

Existen límites legales para todas las sustancias dañinas y sus valores pH. En Argentina, varían según la ubicación geográfica donde se encuentren instalados. En el caso de los hidrocarburos, por ejemplo, el valor límite es de 20 mg/l; el pH admisible del condensado oscila entre 6 y 9.

### 2. Naturaleza del condensado (Figura 1)

#### a) Dispersión

El condensado del aire comprimido puede ser de diversas naturalezas. Las dispersiones se forman por lo general en compresores de tornillo enfriados por aceites sintéticos como el "Sigma Fluid S460". Normalmente, este con-

densado presenta un pH de entre 6 y 9, de manera que puede considerarse neutro. Las impurezas del ambiente se depositan en una capa de aceite que flota sobre el agua y es fácil de separar.

#### b) Emulsión

Una señal que nos indica ópticamente la presencia de una emulsión es un líquido lechoso que no llega a separarse en capas diferentes ni siquiera transcurridos algunos días. Este tipo de condensado se da con frecuencia en los compresores de pistón, de tornillo y multicelulares que funcionan con aceites convencionales. Y también en estos casos se pueden encontrar sustancias dañinas en el aceite.

Al tratarse de mezclas estables, en el caso de las emulsiones no se pueden separar aceite y agua, ni las impurezas aspiradas, como el polvo o los metales pesados, por medio de la gravedad. Si los aceites que las forman contienen éster, el condensado será además agresivo y habrá que neutralizarlo. El tratamiento de este tipo de condensados solamente se puede realizar con un separador de emulsiones.



Figura 1: Todos los compresores aspiran vapor de agua e impurezas junto con el aire atmosférico. El condensado que se va formando (Figura 1,1) debe limpiarse de aceite y otras sustancias contaminantes antes de ser vertido como líquido de desecho por la alcantarilla (Figuras 1, 3).

### 3. Eliminación por terceros

Naturalmente, también es posible coleccionar todo el condensado y entregarlo a una empresa especializada en su tratamiento. Pero esto puede suponer unos costos de entre 40 y 150 USD /m<sup>3</sup>, dependiendo del tipo de condensado. Considerando las grandes cantidades de condensado que suelen producirse, la mayoría de las veces será conveniente decidirse por el tratamiento en instalaciones propias. Esto brinda la ventaja de que solamente queda un 0,25% del volumen original para su eliminación, que habrá de realizarse respetando las normas ambientales.

### 4. Procedimientos de tratamiento

#### a) Para dispersiones

Para el tratamiento de este tipo de condensado bastará en la mayoría de los casos con un aparato de tres cámaras, formado por dos cámaras de pre-separación y un filtro de carbón activo (Figura 2). La separación en sí se produce gracias a la fuerza de la gravedad. La capa de aceite que flota encima del agua en el tanque separador se dirige a un receptáculo y se trata como aceite



Figura 2: Sistema de separación de condensado de aire comprimido por gravedad (esquema de funcionamiento)

usado. El agua que permanece en el tanque se filtra a continuación en dos fases y se puede eliminar por la alcantarilla. Realizando esta separación con ayuda de la fuerza de la gravedad, el usuario ahorra un 95% de los costos que tendría que pagar al entregar el condensado a una empresa externa especializada.

Estos aparatos están disponibles actualmente para compresores de hasta 105 m<sup>3</sup>/min. Naturalmente, si se necesita tratar un mayor volumen de condensado, se conectan varios equipos en paralelo.

#### b) Para emulsiones

Para tratar emulsiones estables se utilizan principalmente dos tipos de aparatos:

Los sistemas de membranas funcionan según el principio de la ultrafiltración con el procedimiento de corrientes cruzadas. El condensado prefiltrado atraviesa las membranas.

Una parte del líquido las atraviesa y sale del equipo con las características necesarias para ser vertido por la alcantarilla. El segundo tipo de aparatos funciona con un agente separador

- 1 Cámara de descompresión
- 2 Depósito de pre-separación
- 3 Colector extraíble
- 4 Depósito colector de aceite
- 5 Prefiltro
- 6 Cartucho del filtro principal
- 7 Salida de agua
- 8 Salida de agua para el test de turbidez

pulverizado. Este material encapsula las partículas de aceite, formando así una especie de copos. Usando filtros con la porosidad correcta será posible eliminar dichos copos. El agua sobrante se vierte por la alcantarilla sin problema.

# Regulación eficaz de los compresores

El correcto ajuste del caudal de los compresores de acuerdo a las oscilaciones del consumo de aire comprimido es lo único que permite evitar las fases de carga parcial, que consumen mucha energía y resultan muy costosas. Es por ello que contar con el controlador adecuado para el compresor juega un papel fundamental.

Los compresores que funcionan con un grado de carga inferior al 50 % están derrochando grandes cantidades de energía. Muchos usuarios, sin

embargo, no son conscientes de ello porque sus compresores disponen de un contador de horas de servicio, pero carecen de un contador de horas de servicio en plena carga. La solución es un sistema de control adaptado a las necesidades: Si se alcanzan niveles de carga de los compresores de un 90 % o más, será posible ahorrar más de un 20 % de energía.

## 1. Controlador interno

### a) Regulación plena carga/marcha en vacío

La mayoría de compresores suelen

accionarse mediante motores asíncronos de corriente trifásica. La frecuencia de conmutación de estos motores desciende conforme aumenta su potencia. Por lo general con estos motores no es suficiente conectar y desconectar los compresores con diferencias de conmutación pequeñas para adaptar su producción a la demanda de aire real. Con estos ciclos de conexión y desconexión precarios solo se descargan las piezas del compresor que soportan presión, aunque el motor sigue operando por un determinado periodo de tiempo (figura 1). Durante la fase de operación en vacío, el compresor sigue consumiendo tan solo un 20 % del consumo a plena carga. No obstante, esa quinta parte de energía no es más que una fuga de recursos energéticos para la planta de aire.

Los sistemas modernos de regulación optimizados informáticamente, como la regulación Quadro, con selección automática del modo de servicio más conveniente (figura 2), la regulación Dynamic, con tiempos de marcha en vacío según la temperatura del motor (figura 3), y la regulación Vario, con tiempos de marcha en vacío calculados y variables (figura 4), ayudan a evitar las costosas fases de marcha en vacío – con una protección total del motor.

Las regulaciones proporcionales por reducción no son recomendables, ya que un compresor que opere al 50 % de su factor de carga sigue consumiendo el 90 % de la energía que suele consumir al operar al 100 %.

### b) Convertidor de frecuencia

Los compresores cuya velocidad de giro está controlada por un convertidor de frecuencia (figura 5) no presentan un grado de rendimiento constante en todo su campo de regulación. Por ejemplo, operando entre 30 y el 100 % de su factor de carga, dicho grado se

reduce del 94 al 86 % en un compresor de 90 kW. Además, el convertidor produce ciertas pérdidas, sumadas a las que puede provocar una razón de rendimiento no lineal de los compresores. Los compresores controlados por convertidor de frecuencia deben funcionar dentro de una gama de control del 40 al 70 %: Ahí es donde se alcanza la máxima rentabilidad.

Estos componentes deben estar dimensionados para el 100 % de la carga. Por tanto, los sistemas con convertidor de frecuencia utilizados incorrectamente pueden llegar a ser verdaderos devoradores de energía sin que el usuario se percate de ello. La regulación del aire producido por medio de un convertidor de frecuencia no es la panacea para conseguir el servicio más económico del compresor.

## 2. Clasificación del consumo de aire comprimido

Por regla general, es posible clasificar los compresores por funciones, teniendo en cuenta si funcionan como compresor de carga base, carga media, carga variable o compresor standby.

### a) Consumo de carga base

Entendemos por carga base la cantidad de aire que necesita el sistema de manera constante.

### b) Consumo de carga máxima

La carga máxima es la cantidad de aire comprimido que se necesita en los momentos de más alto consumo. Es variable, ya que la demanda de los distintos consumidores es diferente.

Para responder convenientemente a estas cargas, será necesario equipar los compresores con distintos controladores. Estos sistemas de control deberán ser capaces de mantener la producción de aire comprimido en caso de que falle un sistema de mando superior.

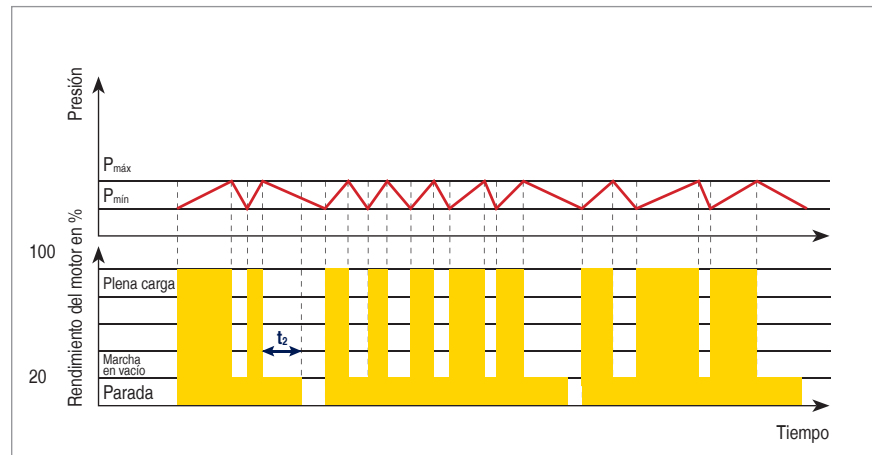


Figura 1: Modo de control plena carga-operación en vacío-parada diferida con fases fijas de operación en vacío, conocido como control Dual

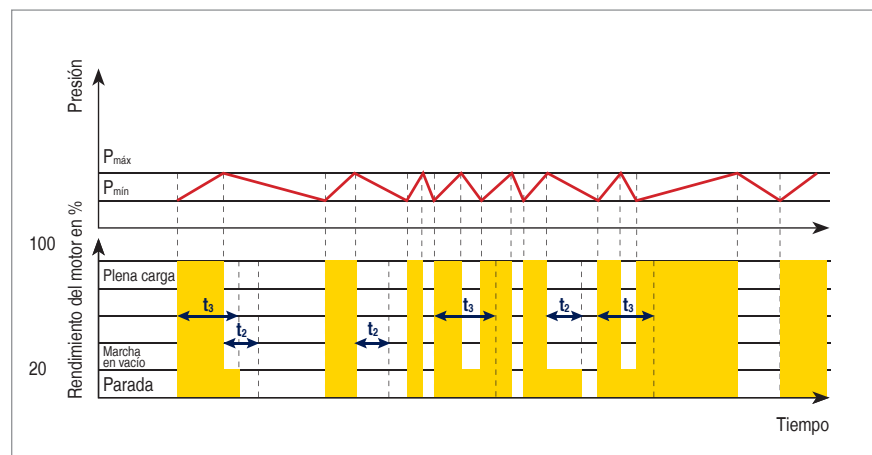


Figura 2: Modo de control intermitente plena carga-operación en vacío-parada diferida con selección automática del funcionamiento óptimo, conocido como control Quadro

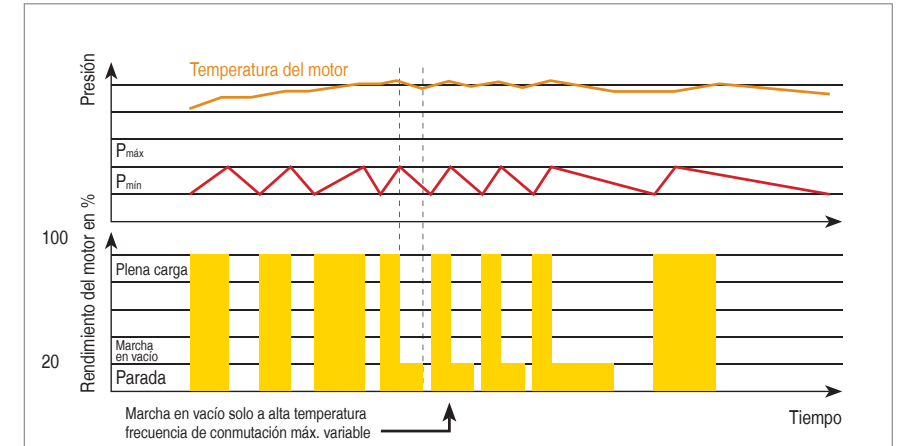


Figura 3: Regulación Dynamic, basada en la regulación Dual, con fases de marcha en vacío en función de la temperatura del motor

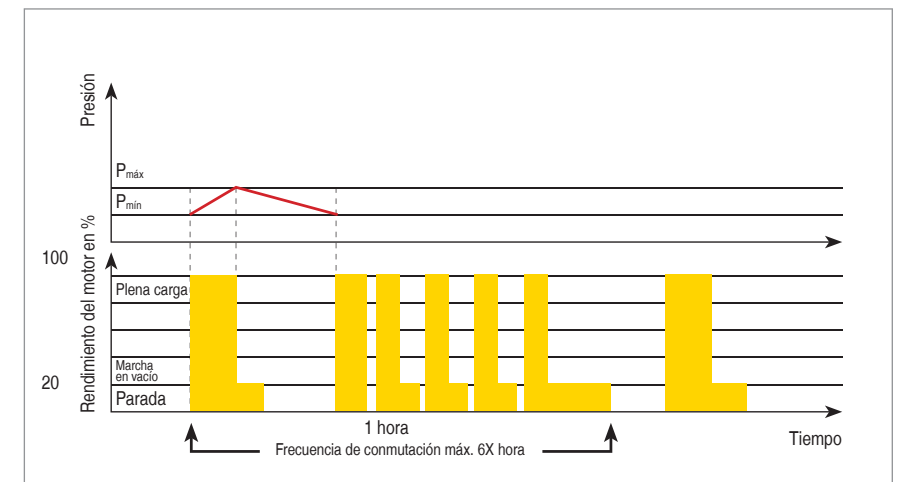


Figura 4: Modo de control Vario con fases de operación en vacío variables estimadas

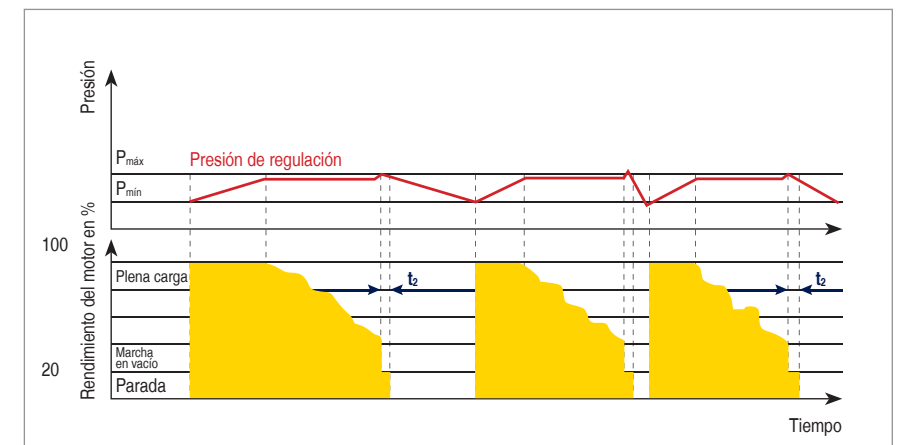


Figura 5: Modo de control Continuo del caudal a través del control de la velocidad de giro del motor (convertidor de frecuencia)



# Control eficaz de los compresores

### 3. Controlador maestro

Los controladores maestros modernos con software y navegador de red regulan el funcionamiento óptimo de los compresores de la estación y los coordinan para conseguir la mayor eficiencia energética. Además, también registran los datos de desempeño y de eficiencia para documentar todo el proceso de producción del aire comprimido.



Figura 7: Las numerosas posibilidades de conexión de un controlador maestro contribuyen a un servicio más eficiente de la estación de compresores

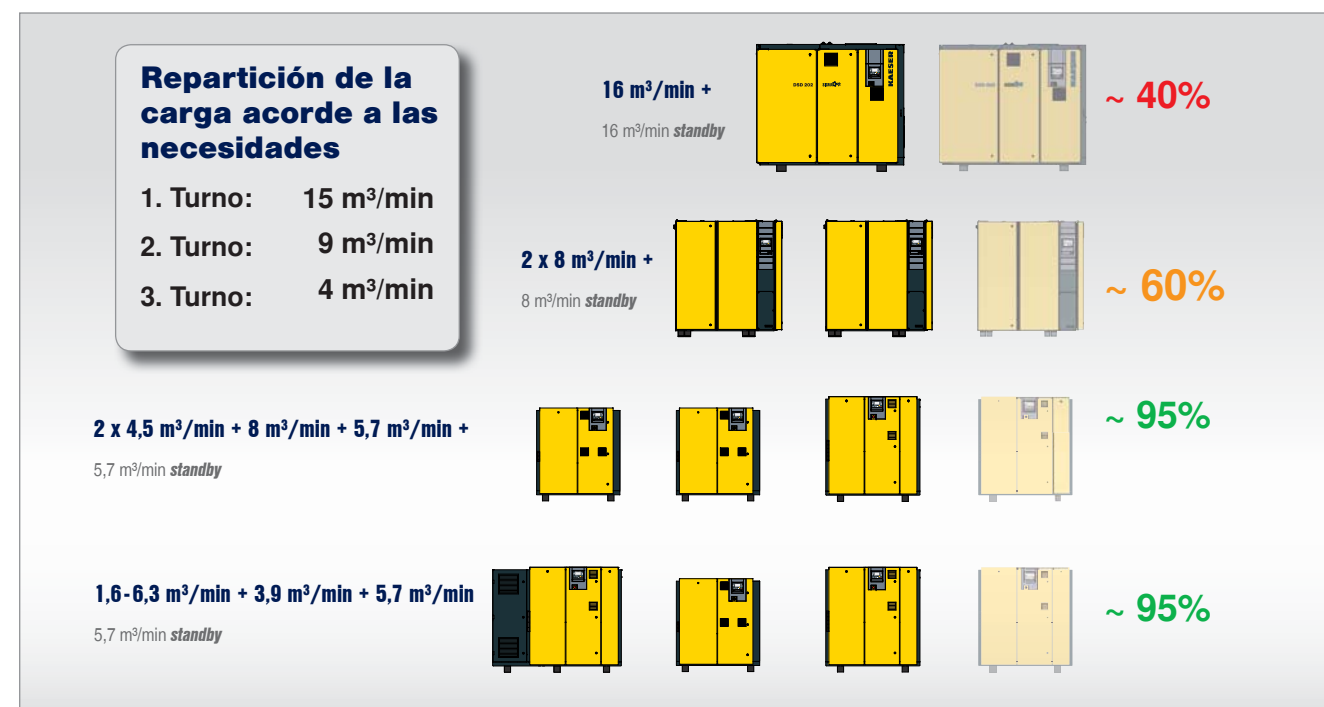


Figura 6: Repartición de la carga según demanda entre compresores de distintos tamaños

Capítulo 7

# Coordinación óptima de los compresores para ahorrar energía

Las estaciones de aire comprimido se componen por lo general de varios compresores iguales o de tamaños diferentes. Para controlar todos estos equipos es preciso contar con un controlador maestro: El objetivo es adaptar la producción de aire comprimido a las necesidades del cliente, logrando al mismo tiempo la máxima eficiencia energética posible.

La mayoría de los sistemas que se denominan controladores de compresores son reguladores desde el punto de vista de la técnica de regulación. Se dividen en cuatro grupos:

### 1. Control en cascada

Este es el modo clásico de comunicar compresores entre sí para su control. Con este sistema se asigna a cada compresor un punto inferior y superior de conmutación. Si son varios los compresores que hay que coordinar, el resultado será un sistema en forma de escalera o de cascada. Si la demanda de aire es baja, se conectará solamente un compresor, y la presión oscilará entre la presión mínima ( $p_{mín}$ ) y máxima ( $p_{máx}$ ) de dicho compresor, disminuyendo la presión cuando la

demanda de aire suba y se conecten varios compresores al mismo tiempo (figura 1, columna 1).

El resultado no es el idóneo, ya que si el consumo de aire es bajo, la presión será la máxima, lo cual hace aumentar el consumo y las pérdidas por fugas; por el contrario, si el consumo es alto, la presión del sistema bajará y se reducirán las reservas.

Dependiendo de si se usan presostatos de membrana, manómetros de contacto o sensores electrónicos para medir la presión, la diferencia de conmutación del sistema de control será muy grande debido a la asignación específica de los compresores a un campo de presión concreto. Cuantos más compresores haya en servicio, más grandes serán los campos de presión totales. La consecuencia es un control ineficaz, con presiones excesivas, fugas y pérdidas de energía. Las regulaciones en cascada deberán sustituirse por otros sistemas de control cuando la estación tenga más de dos compresores.

### 2. Control por banda de presión

El control por banda de presión (figura 1, columna 2) ofrece la posibilidad de

coordinar el funcionamiento de varios compresores, dentro de una gama específica de presión. De este modo se puede reducir la gama de presión dentro de la cual ha de controlarse la estación completa.

### 2. a) Control sencillo por banda de presión

Sin embargo, las versiones de control sencillo por banda de presión no pueden coordinar el funcionamiento de compresores de distintos tamaños; por tanto no cumplen los requisitos para cubrir las cargas máximas de redes de aire comprimido con demandas muy fluctuantes. Por eso, este procedimiento debe complementarse con un sistema orientado a regular los compresores adecuados en los momentos de caída y de subida de la presión para cubrir la demanda durante la carga máxima. Esta característica de regulación exige una ampliación relativamente importante de la banda de presión (figura 2). Además, al igual que el control en cascada, no tiene en cuenta las reacciones de los compresores ni de la red de aire comprimido, produciéndose una caída por debajo del punto de presión mínimo posible. Por eso, es necesario mantener una distancia de seguridad entre la presión mínima exigida y la presión mínima de conmutación del sistema de control.

### 2. b) Modo de control por banda de presión basada en la presión nominal

El modo de control por banda de presión con base en la presión nominal (figura 1, columna 3) representó un gran avance. Su objetivo es mantener una presión nominal reconfigurada, ajustando compresores de diferentes tamaños según el consumo de aire comprimido. La ventaja fundamental de este modo de control opcional radica en la posibilidad de reducir notablemente la presión de trabajo promedio del sis-

tema de aire comprimido, que supone un gran ahorro de energía y costos.

### 3. Modo de control de la presión requerida

El modo de control de la presión requerida (figura 1, columna 4) es actualmente el mejor desde el punto de vista operativo. Con esta modalidad ya no se ajusta el límite mínimo ni máximo de presión, sino la presión de servicio mínima posible, que deberá mantenerse siempre en el punto de medición del sensor de presión (figura 3). El sistema de control calcula la selección y la forma de conmutación óptima de los compresores teniendo en cuenta todas las pérdidas posibles debidas a subidas de presión, fases de arranque, reacción y operación en vacío, así como por los equipos con velocidad variable. El conocimiento de los tiempos de reacción permite al sistema evitar que se caiga por debajo de la presión requerida mínima posible (figura 4).

Este novedoso sistema de control adaptable 3Dadvance utilizado en el controlador maestro SIGMA AIR MANAGER 4.0 (SAM 4.0) permite reducir el consumo de energía con respecto al control por banda de presión orientada a la presión nominal. Además impide que se descienda por debajo del nivel de presión prescrito. Lo más sorprendente es la facilidad con la que el usuario puede regular la presión requerida.

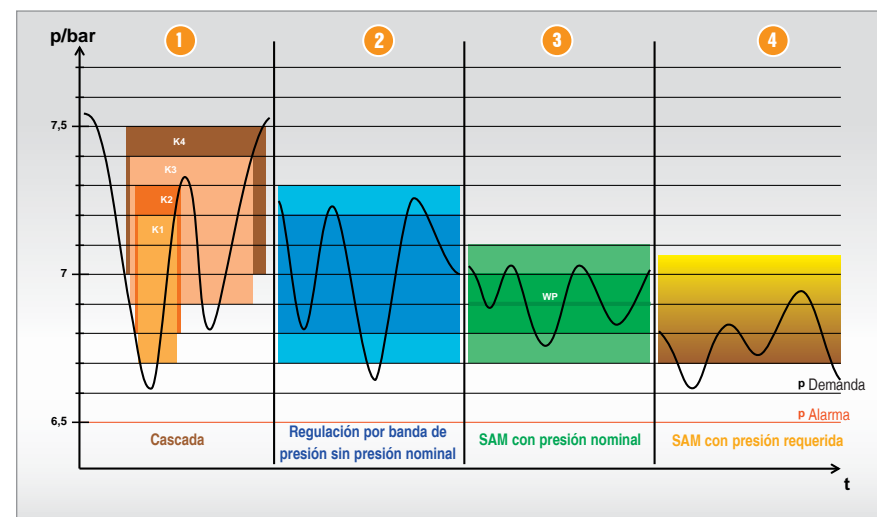


Figura 1: Distintas variantes del modo de control de las estaciones de compresores

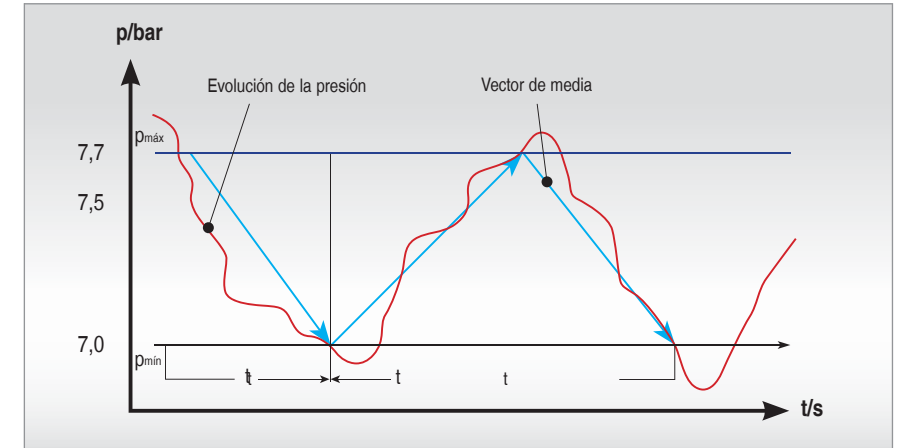


Figura 2: Se ajusta la presión óptima teniendo en cuenta todas las posibles pérdidas de control

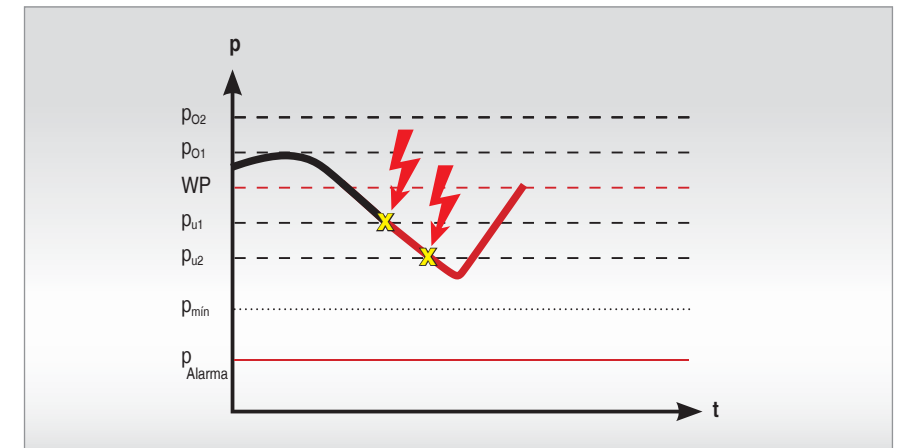


Figura 3: Con el control de la presión requerida ya no se ajusta límite mínimo ni máximo de presión

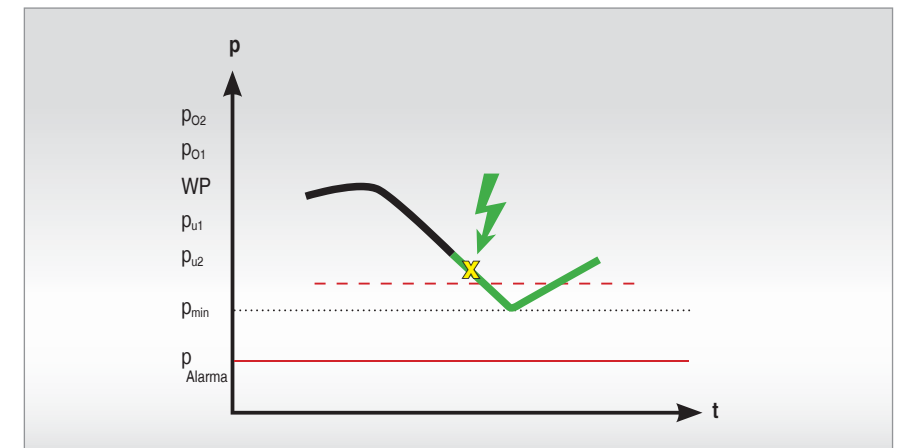
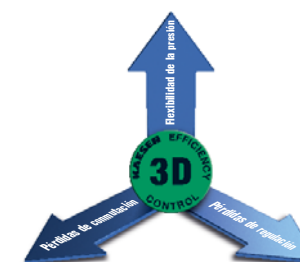


Figura 4: El sistema impide que se descienda por debajo de la presión requerida mínima



# Ahorro de energía gracias a la recuperación del calor

A la vista del encarecimiento continuo de todas las formas de energía, queda claro que el ahorro energético no es ya solo una cuestión ecológica, sino también un factor económico importantísimo. En este sentido, los fabricantes de compresores ofrecen distintas posibilidades, como por ejemplo sistemas para la recuperación del calor que generan los compresores de tornillo.

## 1. Los compresores generan calor

Es un hecho que el 100 % de la energía consumida por un compresor se convierte en calor. El aire se carga en el compresor de un potencial energético a través de la compresión (figura 1). Esa energía es aprovechable por la expansión a presión atmosférica, enfriamiento y derivación del calor al ambiente.

## 2. Posibilidades de la recuperación del calor

Los usuarios que deseen una producción de aire comprimido aún más económica pueden elegir una de las variantes siguientes para la recuperación del calor:

### a) Calefacción por aire caliente

La opción más sencilla consiste en aprovechar directamente el aire caliente que sale del sistema de refrigeración del compresor para calefacción, y es factible tanto en máquinas refrigeradas por aire como por fluido. El calor derivado se conduce por un sistema de canales hasta las estancias que se quiera dotar de calefacción. Naturalmente, este aire caliente puede utilizarse también para otros fines, como por ejemplo para procesos de secado, cortinas de calefacción en entradas abiertas de edificios o para precalentar aire de combustión. Si no se necesita el calor, una escotilla manual o automática desviarà la trayectoria del aire caliente hacia el exterior.

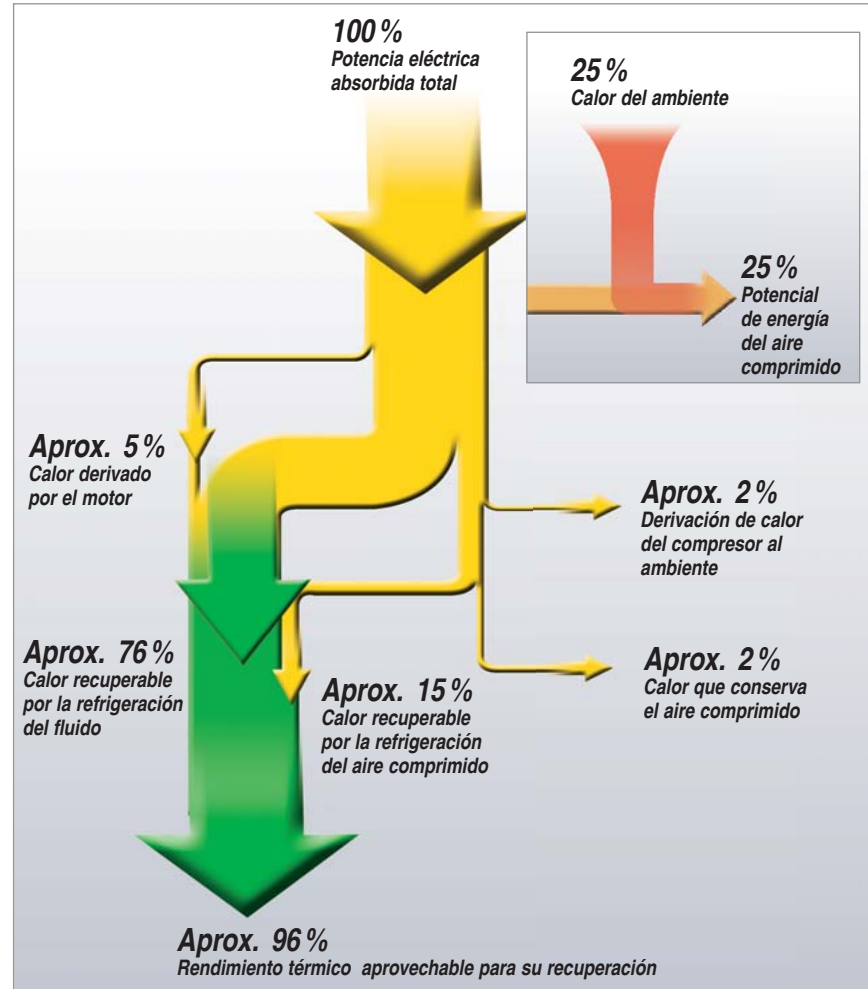


Figura 1: Diagrama de flujo del calor

toria del aire caliente hacia el exterior. Un cierre regulado termostáticamente permite dosificar el aire caliente de manera exacta para que la temperatura deseada se mantenga constante. Con esta variante se aprovecha el 96 % de la potencia eléctrica consumida por el compresor de tornillo. Además, merece la pena incluso en el caso de compresores pequeños, ya que un compresor de 7,5 kW produce durante su funcionamiento calor suficiente como para calentar una casa unifamiliar.

### b) Calefacción por agua

Instalando un intercambiador de calor en el circuito de fluido, tanto en com-



Figura 2: Conexión de compresores a un sistema de recuperación del calor acorde a las normas

presores de tornillo refrigerados por aire como por agua, es posible producir agua caliente para fines diversos. Lo ideal es instalar un intercambiador de calor de placas o uno de seguridad – dependiendo de si el agua caliente va a utilizarse para circuitos de calefacción, duchas del personal o procesos de limpieza de la producción. Estos intercambiadores permiten calentar el agua hasta una temperatura máxima de 70 °C. El resto de aplicaciones de esta variante de recuperación del calor se amortizan con compresores a partir de 7,5 kW en un plazo de dos años. Para ello, sin embargo, la planificación del sistema debe ser correcta.

## 3. Aspectos de seguridad

Normalmente, el sistema primario de refrigeración del compresor no deberá usarse al mismo tiempo como sistema de recuperación de calor, ya que si se produce una avería en el sistema de recuperación del calor la refrigeración del compresor también dejaría de funcionar, y esto supondría la parada de todo el sistema. Por eso es recomendable instalar siempre intercambiadores de calor adicionales en el compresor para la recuperación del calor. De este modo, el compresor podrá seguir funcionando con seguridad en caso de una avería: Si el intercambiador de calor del sistema de recuperación del calor dejara de funcionar, el compresor puede pasar a utilizar el sistema de refrigeración primario por aire o agua. Esto garantiza la seguridad en la producción de aire comprimido (figuras 2 y 3).

## 4. Hasta un 96 % de calor aprovechable

La mayor parte de la energía consumida por el compresor y aprovechable en forma de calor, el 76 % pasa al medio refrigerante en los compresores con inyección de aceite, un 15 % se transmite al aire comprimido y hasta

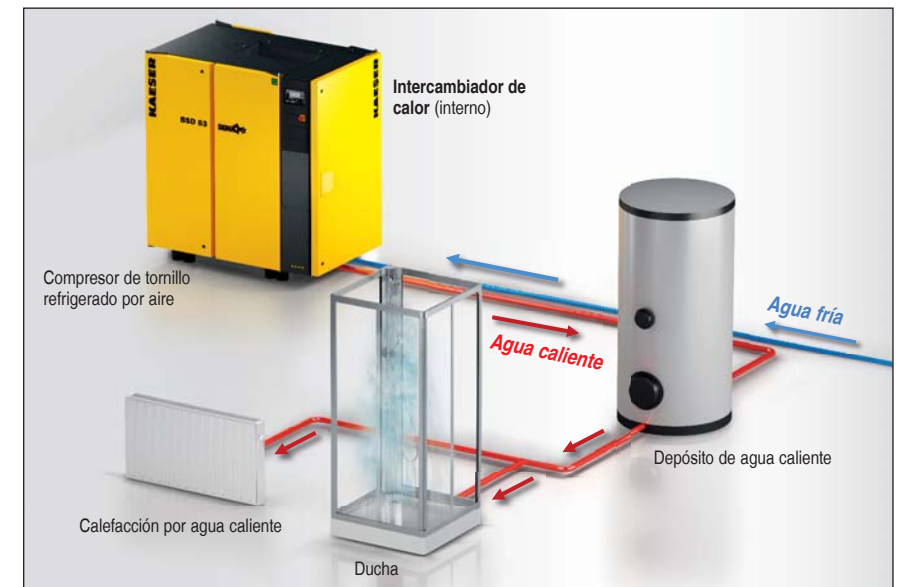


Figura 3: Esquema recuperación de calor

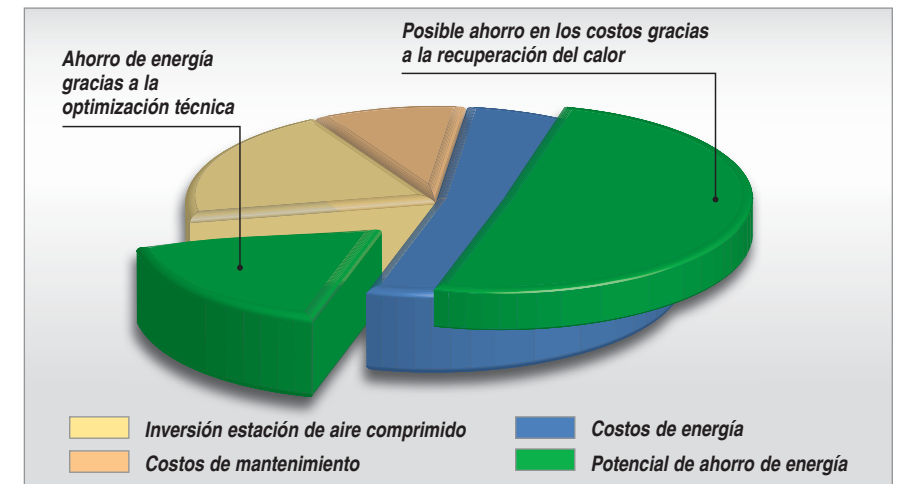


Figura 4: La recuperación de calor permite ahorrar una gran cantidad de energía

un 5 % son las pérdidas de calor del motor eléctrico. En el caso de motores encapsulados refrigerados por aceite es posible recuperar incluso el calor de estas pérdidas por medio de una refrigeración adecuada.

Hasta un 96 % de la energía que consume el compresor puede recuperarse, por tanto, en forma de calor. Solamente el 2 % de la energía se pierde por irradiación al exterior, y un 2 % permanece en el aire comprimido (figura 1).

## 5. Resultado

La recuperación del calor es una opción atractiva y ecológica para mejorar el rendimiento energético de un sistema de aire comprimido y contribuir a la protección del medio ambiente. El gasto que supone es relativamente pequeño. El alcance de la inversión depende de las condiciones del lugar donde se instale, del campo de aplicación y del sistema de recuperación del calor que se elija (figura 4).

## Planificación de la red de aire comprimido

**El aire comprimido solo será rentable si la producción, el tratamiento y la distribución están perfectamente ajustados entre sí. Para ello son necesarias una planificación e instalación correctas de la estación de compresores, así como el dimensionado justo y el buen diseño de la red de aire comprimido.**

### 1. Producción económica del aire comprimido

Teniendo en cuenta todos los gastos de energía, refrigerantes, mantenimiento y la depreciación del compresor, un metro cúbico de aire puede costar entre 0.01 y 0.05 dólares americanos, dependiendo del modelo, la carga y el estado de mantenimiento del compresor. Por esta razón, muchas empresas dan gran importancia a una producción económica del aire comprimido. Y este es justamente el motivo por el cual los compresores de tornillo refrigerados por aceite tienen éxito: Con estas máquinas puede ahorrarse hasta un 20 % de los costos que generaba antes la producción de aire comprimido.

### 2. El tratamiento del aire comprimido influye en la red de aire

Sin embargo, al tratamiento del aire se le suele dar una importancia menor. Este hecho es lamentable, ya que los consumidores de aire comprimido y la red de distribución provocarían menos costos de mantenimiento si el tratamiento del aire fuese correcto. Las tuberías que transportan aire sin secar deben estar fabricadas en materiales resistentes a la corrosión. Recuerde que el uso de tuberías inadecuadas puede empeorar la calidad del aire comprimido conseguida por el sistema de tratamiento de aire.

#### a) Los secadores refrigerativos reducen la necesidad de mantenimiento

Los secadores refrigerativos son ade-

cuados para secar el aire comprimido en un 80 % de los casos. Con ellos se evitan las pérdidas de presión provocadas por la instalación de filtros en la red y se consume solamente un 3 % de la energía que el compresor usaría para compensar las pérdidas de presión causadas por dichos filtros. Además se ahorra en costos de mantenimiento y reparación de las conducciones y herramientas neumáticas una suma hasta 9 veces superior a la que se gasta en los medios necesarios para el enfriamiento.

#### b) Unidades combinadas para ahorrar espacio

Para empresas pequeñas y para la producción descentralizada de aire comprimido existen combinaciones de compresor de tornillo, secador refrigerativo y depósito de aire comprimido (figura 1).

### 3. Planificación e instalación de una red de aire comprimido nueva

Primero habrá que decidir si se desea una producción de aire comprimido central o descentralizada. Para empresas pequeñas y medianas suele



Figura 1: El moderno equipo compacto AIRCENTER permite producir, tratar y almacenar aire comprimido en poco espacio

ser recomendable una estación central, ya que en ellas no se dan los problemas que suelen darse en las grandes redes de aire comprimido, a saber: Un gasto mayor de instalación, peligro de congelación en invierno de tuberías sin el aislamiento suficiente y de caídas de presión por la gran longitud de las conducciones.

#### a) Dimensionado correcto de la red

Al dimensionar una red de tuberías, siempre se deberán realizar los cálculos pertinentes. La base para dichos cálculos ha de ser una bajada de presión de 1 bar entre el compresor y los consumidores, incluida la diferencia de conmutación del compresor y del tratamiento estándar del aire (secado). Debe contarse con las siguientes pérdidas de presión (figura 2):

1	Conducción principal	0,03 bar
2	Conducción de distribución	0,03 bar
3	Conducción de conexión	0,04 bar
4	Secador	0,20 bar
5	Unidad de mantenimiento y manguera	0,50 bar
	<b>Total máx.</b>	<b>0,80 bar</b>

Esta lista demuestra lo importante que es calcular las pérdidas en cada uno de los tramos. A estos efectos deben tenerse en cuenta igualmente ciertos componentes y dispositivos de cierre de la red. Por lo tanto, no bastará con meter en nuestras fórmulas o tablas de cálculo los metros de conducciones rectas, sino que habrá que determinar más bien la longitud de las mismas teniendo en cuenta su capacidad de flujo. Normalmente, al comenzar con la planificación no se sabe con exactitud cuántos de estos componentes formarán parte de la red. Por eso, para hacer una estimación de la longitud de las tuberías para nuestros fines, habrá que multiplicar la longitud de las conducciones rectas por el factor 1,6. Su

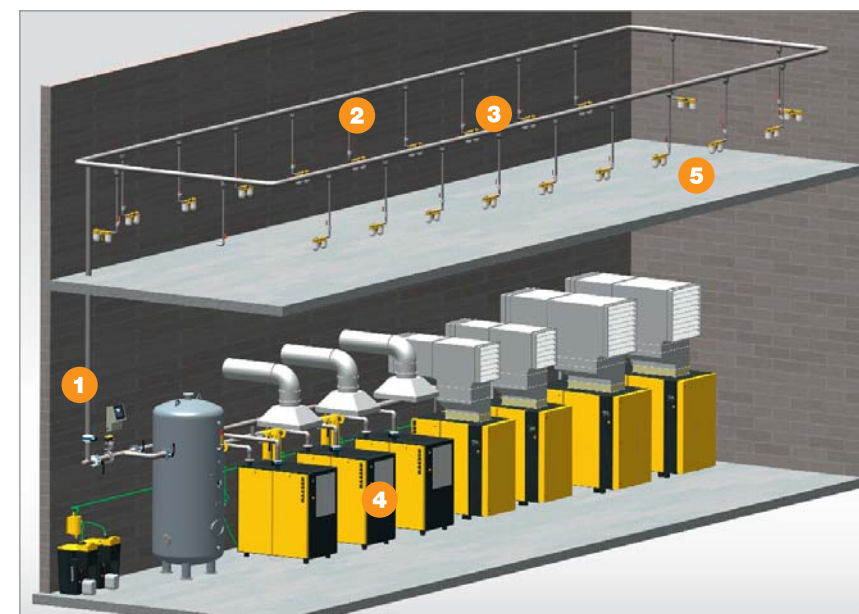


Figura 2: Partes principales de un sistema de distribución de aire comprimido: Tubería principal (1), tubería de distribución (2), tubería de conexión (3), secador (4), unidad/manguera de tratamiento (5)

diámetro se puede determinar fácilmente basándose en los diagramas habituales de diseño (figura 3) o en diagramas de diseño (anexo 1, pág 54).

Fórmula de aproximación:

$$d_i = \sqrt[5]{\frac{1,6 \times 10^3 \times V^{1,85} \times L}{\Delta p \times p_s}}$$

$d_i$  = diámetro interior de la tubería (m)  
 $p_s$  = presión del sistema (absoluta en Pa)

$L$  = longitud nominal (m)  
 $V$  = flujo volumétrico (m<sup>3</sup>/s)  
 $\Delta p$  = pérdida de presión (Pa)

Figura 3: Fórmula de aproximación para calcular diámetros de tuberías

Con ayuda del software Toolbox KAESER (<http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner>) es posible realizar el diseño.

#### b) Ahorro energético gracias a la disposición de las tuberías

Para ahorrar energía, instalaremos tuberías lo más rectas posible. Por

ejemplo, podemos evitar los codos para esquivar pilares o columnas haciendo pasar la tubería en línea recta al lado de dichos obstáculos. Las esquinas de 90° provocan grandes pérdidas de presión, por lo que será recomendable sustituirlas con arcos de un ángulo más amplio. En lugar de los grifos de cierre habituales, será conveniente instalar llaves de bola o válvulas de lengüeta con apertura total.

En las zonas húmedas de una estación moderna de aire comprimido, las conexiones que partan de la red principal deberán derivarse hacia arriba o lateralmente. La conducción principal deberá tener una inclinación del 2 por mil, y en su punto más bajo deberá instalarse un aparato de separación de condensados. En el sector seco, las conducciones pueden ser horizontales, y las derivaciones pueden dirigirse hacia abajo.

#### c) ¿Cuál es el material más indicado para las tuberías?

Es difícil dar consejos sobre el material del cual han de ser las tuberías. En los

compresores deberán usarse siempre tuberías de metal para soportar las altas temperaturas. Ni siquiera el precio de compra puede erigirse como argumento único: Las tuberías galvanizadas, las de cobre y las de plástico tienen precios similares si se suman los materiales y la instalación. El precio de las tuberías de acero inoxidable es aproximadamente un 20 % superior. Sin embargo, existen métodos de mecanización muy eficaces que han conseguido rebajar los precios. Muchos fabricantes ofrecen tablas en las que se detallan las condiciones óptimas para cada material. Conviene pues estudiar dichas tablas antes de tomar cualquier decisión y tener en cuenta la carga que habrán de soportar durante el servicio futuro las tuberías para hacerse una idea de las necesidades. Esa será la única manera de realizar la elección correcta.

#### d) Importante: elegir la técnica correcta para la conexión de las tuberías

Los tramos de tubería deben soldarse o pegarse o bien atornillarse y pegarse entre sí. Aunque esto dificulte su separación posterior, este tipo de uniones reducirán al mínimo el peligro de fugas.

# Corrección de la red de aire comprimido

Año tras año, miles de dólares se disuelven en el aire, nunca mejor dicho. La razón es que las redes de aire comprimido viejas o mal mantenidas disparan el consumo de energía de los sistemas neumáticos. Los usuarios que quieran dar solución a este problema deberán ponerse manos a la obra. A continuación le ofrecemos una serie de consejos para sanear las conducciones de su red de aire comprimido.

## 1. Requisito básico: aire comprimido seco

Al planificar una red de aire comprimido nueva se pueden evitar muchos fallos y, con ellos, problemas futuros. Sin embargo, la corrección de una red ya existente suele presentar más dificultades. Se tratará de un caso especialmente complicado si se continúa alimentando el sistema con aire húmedo. Antes de comenzar con la reparación es imprescindible que exista una unidad central de secado.

## 2. ¿Qué hacer en caso de grandes caídas de presión en la red?

Si las caídas de presión siguen siendo grandes después de la instalación de aparatos de tratamiento adecuados el origen del problema pueden ser los depósitos sedimentarios en el interior de las tuberías.

Estos depósitos se forman por las impurezas que arrastra el aire comprimido y que van reduciendo la sección disponible de la tubería al mínimo.

### a) Cambiar o limpiar con aire comprimido

Si los depósitos ya se han endurecido, la mayoría de las veces será necesario cambiar los tramos de tubería afectados. Sin embargo, con frecuencia es suficiente limpiar las tuberías soplando con aire comprimido y secarlas a continuación si las impurezas no han llegado a reducir notablemente su sección.

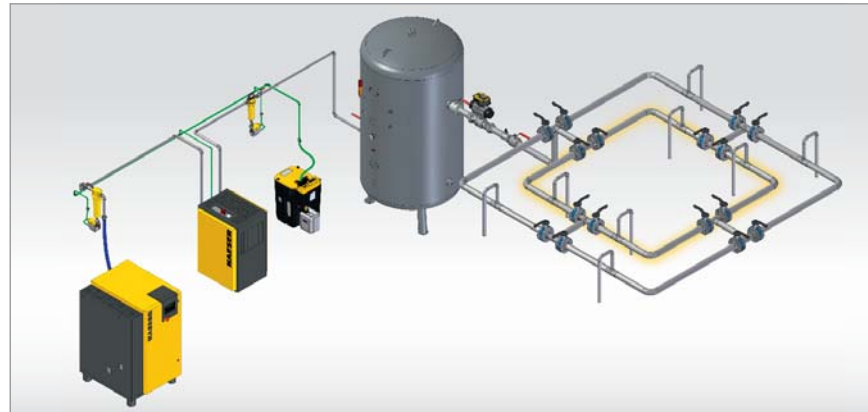


Figura 1: Reparación de una tubería de aire comprimido instalando un segundo anillo de distribución

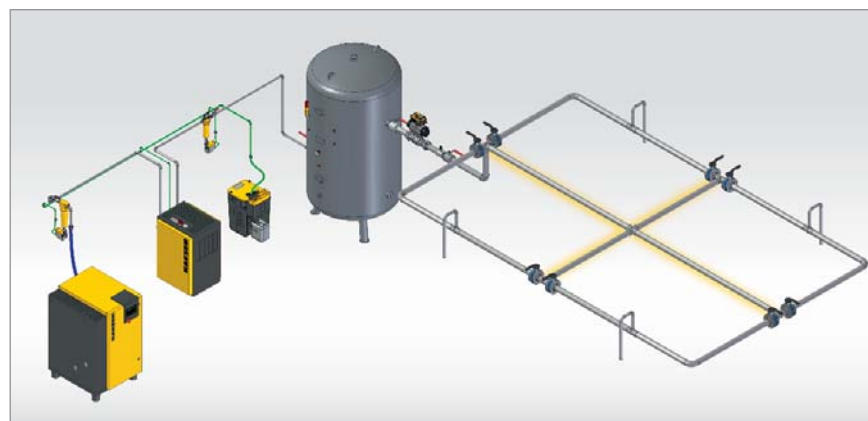


Figura 2: Ampliación de la capacidad de flujo instalando tuberías cruzadas

### b) Instalación de tuberías suplementarias

Una buena solución para tuberías que hayan perdido buena parte de su sección por depósitos consiste en instalar tramos de tubería paralelos conectados a la primera. Si el estrechamiento de las tuberías es extremo, es conveniente instalar un anillo completo suplementario (figura 1).

Si dimensionamos este segundo anillo correctamente, además del efecto principal deseado - reducción de las pérdidas de presión, conseguiremos una mejor distribución del aire comprimido. Otra posibilidad de corregir tuberías anulares consiste en instalar tuberías cruzadas (ilustración 2).

## 3. Cálculo y eliminación de fugas

Las medidas de corrección solamente alcanzarán resultados óptimos si se eliminan también las fugas de la red de aire.

### a) Determinación de las pérdidas totales por fugas

Antes de empezar a buscar los puntos no herméticos de las tuberías, habrá que determinar el alcance total de las pérdidas por fugas.

Para ello existe un método relativamente sencillo con ayuda del compresor: Primero habrá que desconectar todos los consumidores de aire y medir los periodos de conexión del compresor (ilustración 3).

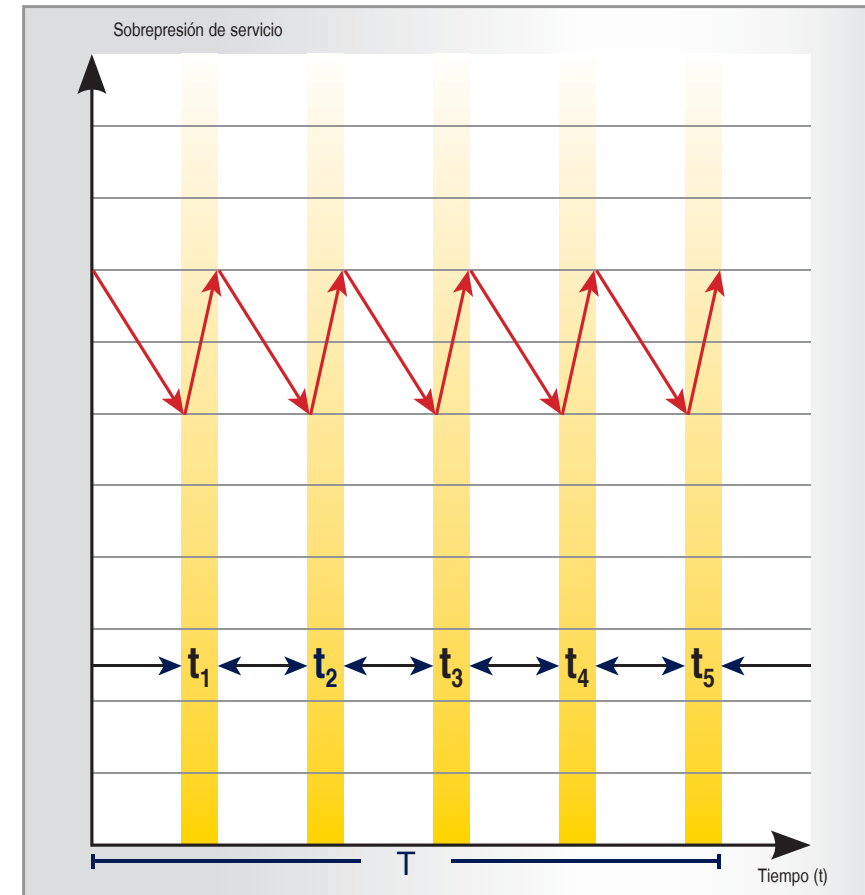


Figura 3: Determinación de fugas por medición de los periodos de conexión del compresor con consumidores desconectados

Usaremos los resultados para realizar el cálculo de las fugas VL con la siguiente fórmula:

$$VL = \frac{VK \times \sum t_x}{T}$$

VL = fugas (m³/min)

VK = flujo volumétrico del compresor (m³/min)

$\sum t_x = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5$   
Tiempo en que el compresor ha funcionado con carga (min)

T = tiempo total (min)

### b) Cálculo de las fugas en los consumidores

Para calcular las fugas en los consumidores, primero conectaremos todas

las herramientas, máquinas y aparatos neumáticos y mediremos la suma de todas las fugas (figura 4). Después, cerraremos las válvulas de cierre de las conexiones y mediremos las fugas de la red de tuberías (figura 5). La diferencia entre ambas representará la fuga total en consumidores, su grifería y conexiones.

## 4. ¿Dónde suele encontrarse la mayoría de las fugas?

La experiencia demuestra que cerca del 70 % de las fugas se presentan en los últimos metros de la tubería. Es decir, en los puertos de admisión de la red de aire. Estos puntos de fuga pueden localizarse exactamente con agua jabonosa o aspersores especiales. Por

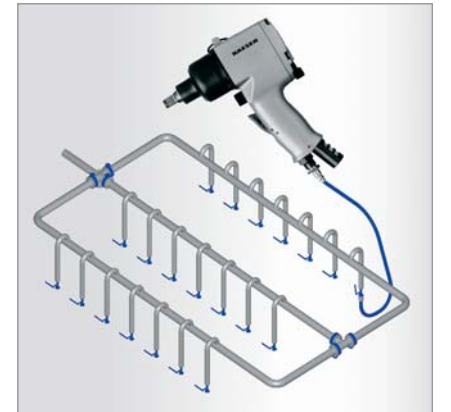


Figura 4: Medición de fugas de los consumidores de aire comprimido + red de tubería

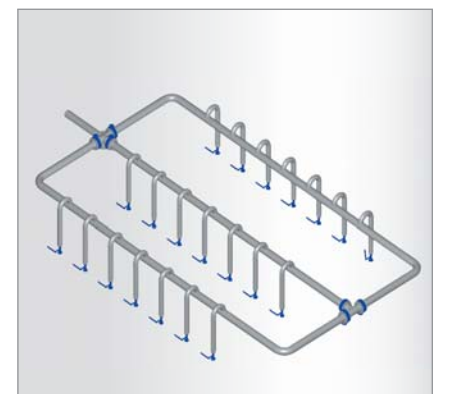


Figura 5: Medición de las fugas de la red de tubería

lo general, los conductos principales no presentan grandes fugas a no ser que se trate, por ejemplo, de una red que en principio era húmeda con juntas viejas de cáñamo y que se haya secado por ser usada posteriormente para transportar aire seco. Recomendamos usar equipos de ultrasonido para localizar las fugas en la red principal de aire. Una vez localizadas y eliminadas las fugas, y luego de que la sección de la tubería se haya adaptado de acuerdo al flujo, la red de aire comprimido podrá darse por reparada.

# Análisis de la Demanda de Aire (ADA): Cálculo de la situación real

Las estaciones de compresores suelen ser sistemas muy complejos que solo funcionarán de manera económica si esa complejidad se tiene en cuenta en los trabajos de planificación, ampliación y modernización. Para este fin, KAESER ofrece un servicio global, que incluye elementos probados durante años, como son los componentes de aire comprimido o el asesoramiento y la asistencia al usuario, así como las nuevas posibilidades que ofrece actualmente la informática aplicada al aire comprimido.

La lista de usuarios de aire comprimido abarca todas las ramas de la industria. Esto supone un auténtico reto a la hora de conseguir el uso más eficaz del aire en cada una de las aplicaciones, con la técnica de producción y tratamiento correctas. La estación debe ser capaz en cada caso de producir aire comprimido en la cantidad y calidad exactas y a buen precio.

### 1. El buen asesoramiento es determinante para la economía del sistema

Para responder a todas estas exigencias, el sistema de aire comprimido tendrá que estar perfectamente adaptado al uso, a su lugar de instalación y a las condiciones ambientales. Debe estar formado por compresores, aparatos de tratamiento y conducciones de dimensiones correctas, contar con sistemas de control eficaces, una técnica de ventilación adecuada, un buen sistema de tratamiento de condensados y, a ser posible, un sistema de recuperación del calor.

Esta es precisamente la idea en la que se basa el sistema de ahorro energético KAESER, KESS (Kaeser Energy Saving System). El sistema incluye el análisis de la demanda de aire, la planificación (figura 1), la realización del proyecto, la formación posterior y el servicio al cliente.

Los puntos más importantes son la calidad del asesoramiento y la elección correcta de los elementos técnicos, ya que los mayores potenciales de ahorro se encuentran justamente en el consumo energético y en el mantenimiento, y no en el precio de adquisición de los equipos.

El punto de partida del asesoramiento por KESS es el análisis de la demanda actual y futura de aire. Este análisis

### 2. Análisis de la Demanda de Aire comprimido

El punto de partida del asesoramiento por KESS es el análisis de la demanda actual y futura de aire. Este análisis

realizado por KAESER, más conocido por sus siglas ADA (Análisis de la Demanda de Aire), debe concentrarse, según los casos, en puntos diferentes:



Figura 1: Sistema de análisis de la demanda de aire comprimido de KAESER Kompressoren

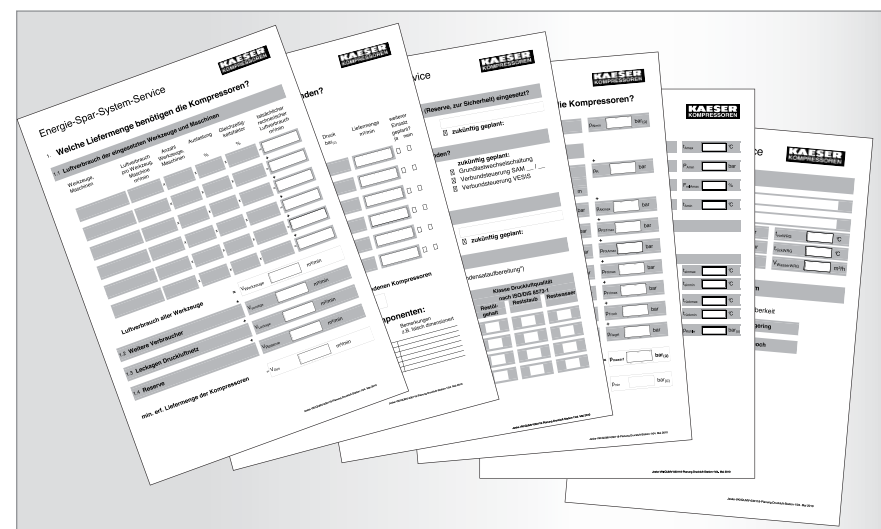


Figura 2: Cuestionario "Estación de aire comprimido" para la inclusión de equipos nuevos y viejos (ver también anexo, página 56 y sig.)

### a) Planificación de una estación de aire comprimido nueva

A la hora de planificar una estación nueva de aire comprimido, el futuro usuario deberá rellenar un formulario específico (ilustración 2). La información conseguida servirá a los expertos de KAESER para calcular la demanda de aire comprimido y determinar el equipo necesario para cubrirla. El formulario incluye todos los aspectos importantes para la producción económica y ecológica de aire comprimido.

### b) Ampliación y modernización

Las ampliaciones ofrecen puntos de referencia para conseguir un diseño adaptado a la demanda con los que no se cuenta en un proyecto nuevo. KAESER pone a disposición del cliente los procedimientos y aparatos de medición con los que calcular la demanda exacta de aire en diferentes puntos de la instalación en momentos distintos. Al hacerlo, será importante no limitarse a registrar solamente valores medios, sino también los máximos y los mínimos (figura 8, pág. 29).

### c) Control de la eficacia de estaciones ya existentes

También en el caso de estaciones ya instaladas se recomienda comprobar de vez en cuando, con ayuda de un sistema asistido por ordenador, si los compresores soportan la carga correcta, si los sistemas superiores de control siguen estando programados adecuadamente y si las fugas de la instalación se encuentran dentro de los límites de tolerancia.

ADA debe entrar en acción también cuando quieran sustituirse compresores viejos por nuevos. De esta forma se pueden corregir las potencias de las unidades en el caso de que no sean correctas, mejorar el comportamiento funcional de los compresores en la fase de carga parcial y planificar la integración de un controlador maestro adecuado.

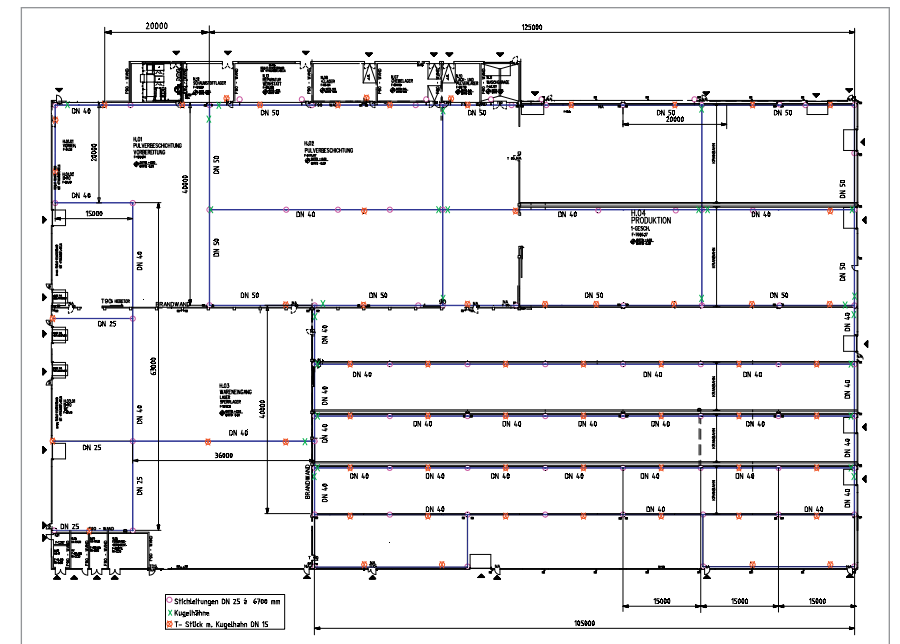


Figura 3: Plano de distribución de una empresa con sistema de tuberías de aire comprimido

### d) Cambio de las condiciones de uso del aire comprimido

Si las condiciones de servicio sufren alguna alteración será imprescindible consultar a un especialista, ya que en muchas ocasiones se puede alcanzar un gran ahorro eligiendo la técnica de tratamiento adecuada o ajustando la presión correctamente.

### 3. Información del usuario

#### a) Plano de distribución

Para la orientación general es necesario un plano de distribución de la empresa (figura 3). Debe incluir la red general de distribución de aire comprimido, las conducciones de enlace y los puntos de alimentación de la estación de compresores. Además, deben indicarse datos sobre el dimensionado de las tuberías y los materiales, así como sobre los puntos de mayor consumo y las tomas de aire que exigen condiciones especiales de presión o de calidad.

#### b) Campos de aplicación del aire comprimido

Dado que el aire comprimido es un

medio muy versátil, serán impresionantes datos sobre el campo en el que se va a utilizar: El usuario deberá prestar información de si el aire habrá de utilizarse como aire de control, para recubrimiento de superficies, herramientas rotatorias, para limpieza, como aire de procesos, etc.

#### c) Compresores instalados

Junto a los modelos y tipos de compresores, deberán indicarse sus datos técnicos, como son la presión de servicio, el caudal, la potencia que consumen, el tipo de refrigeración y, en caso de que proceda, el modo de aprovechamiento del calor generado.

#### d) Tratamiento del aire comprimido

En el caso del tratamiento del aire es importante nombrar si este procedimiento tendrá lugar de forma centralizada o descentralizada y qué clases de calidad se precisan. Naturalmente, vuelven a ser importantes también los datos técnicos de los componentes. Un diagrama de flujo puede servir como guía general (figura 4, pág. 28).

Capítulo 11

# Análisis de la Demanda de Aire (ADA): Cálculo de la situación real

### e) Control y supervisión de los equipos

La armonización de los compresores entre sí y su rendimiento conjunto son los puntos que más influyen en la economía de la estación de compresores, por lo que no podrá faltar una descripción del sistema de control y vigilancia.

### 4. Entrevista usuario/especialista en aire comprimido

Una vez recabados todos los datos anteriores, el especialista en aire comprimido deberá mantener una entrevista con el usuario para que éste le explique el contenido de toda la documentación y para hablar sobre los problemas que presente el sistema de aire comprimido actual. Entre ellos pueden encontrarse, por ejemplo, un nivel de presión demasiado bajo o demasiado oscilante, una calidad insuficiente del aire comprimido, mal nivel de carga de los compresores o problemas con el sistema de refrigeración.

### 5. Visita del sistema de aire comprimido

Una visita a las instalaciones suele aclarar muchas dudas. En este caso se recomienda empezar en la zona problemática, es decir, aquella donde

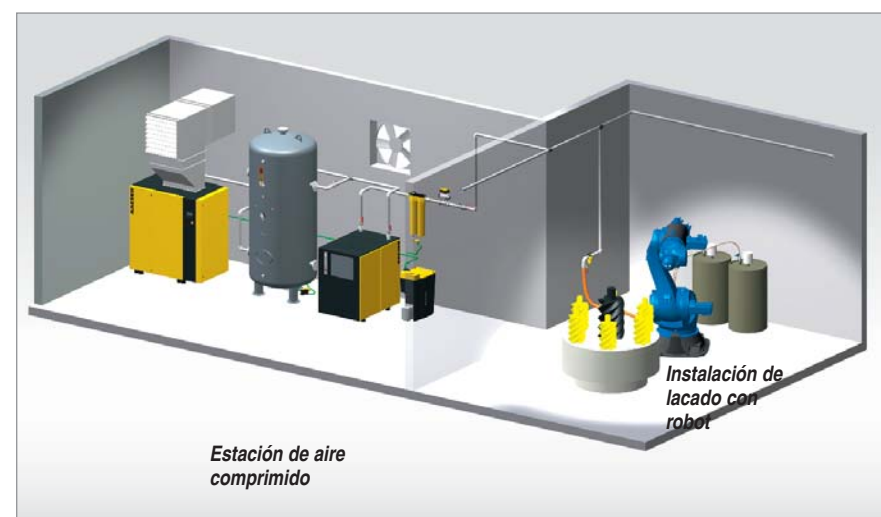


Figura 5: Muy reveladora: La visita del sistema de aire comprimido

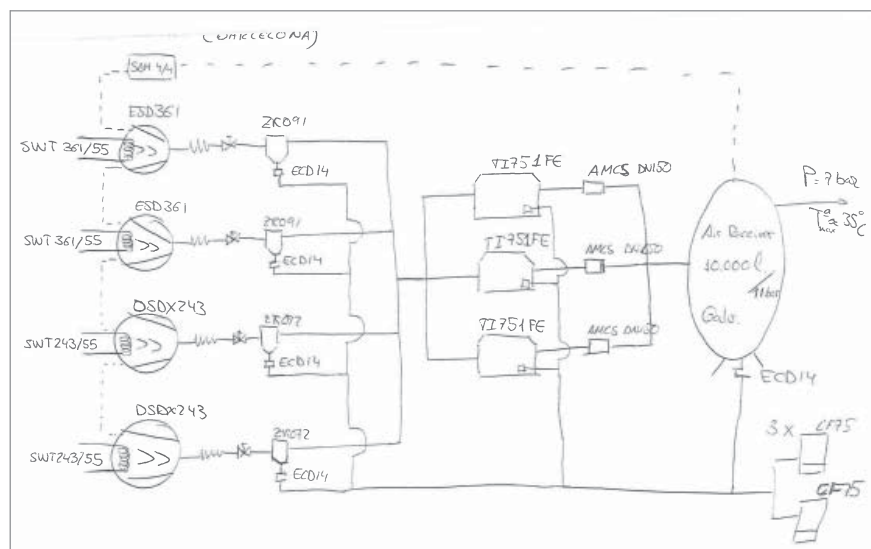


Figura 4: Dibujo a mano del diagrama de flujo de una estación de aire comprimido

se puedan dar, por ejemplo, grandes pérdidas de presión o una mala calidad del aire (ilustración 5). La experiencia demuestra que suele ser en los puntos de consumo.

### a) Mangueras de conexión, reguladores de presión, separadores de agua

Suelen ser las mangueras de conexión de los consumidores las que presentan más fugas. Por esta razón, convendrá comprobar que se encuen-

tran en buen estado y que no pierden aire. Si dispone de reguladores de presión, deberá comprobarse también su ajuste (presión de entrada y de salida) en condiciones de carga (figura 6). Igualmente, deberá comprobarse que los separadores de agua instalados delante de los reductores de presión estén libres de impurezas. Lo mismo se hará con las conducciones de salida bajantes en vertical (figura 7).

### b) Dispositivos de cierre

El estado de las conducciones que salen de la red principal influye también notablemente en la eficacia del sistema. Los dispositivos de cierre constituyen en este caso un elemento de peso. Convendrá saber si se trata de llaves de bola de apertura total, que facilitan el flujo, válvulas de cierre u otro tipo de válvulas de cierre que obstaculizan el paso de la corriente de aire, como las llaves de agua o las válvulas angulares.

### c) Tubería principal

En este tipo de línea deberán buscarse las restricciones responsables de las pérdidas de presión.



Figura 6: Unidad de tratamiento con reductor de presión

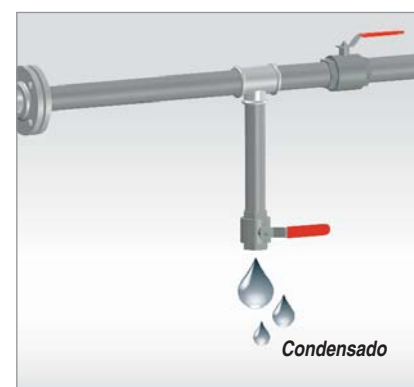


Figura 7: Comprobar si hay humedad en la tubería de salida

### d) Sistema de tratamiento del aire comprimido

Los criterios de control más importantes en este caso son el punto de rocío conseguido (sequedad del aire) y la presión diferencial que se produce en cada caso. Dependiendo del campo de aplicación, será pertinente proceder a otros controles de calidad.

### e) Estación de aire comprimido

La estación de compresores propiamente dicha puede presentar también algunas deficiencias. Deberán examinarse la colocación de las máquinas, el sistema de ventilación, la refrigeración y el trazado de las tuberías. Por otro lado, habrá que determinar la presión diferencial total de conmutación de los compresores, el tamaño del depósito de aire comprimido y el punto de medi-

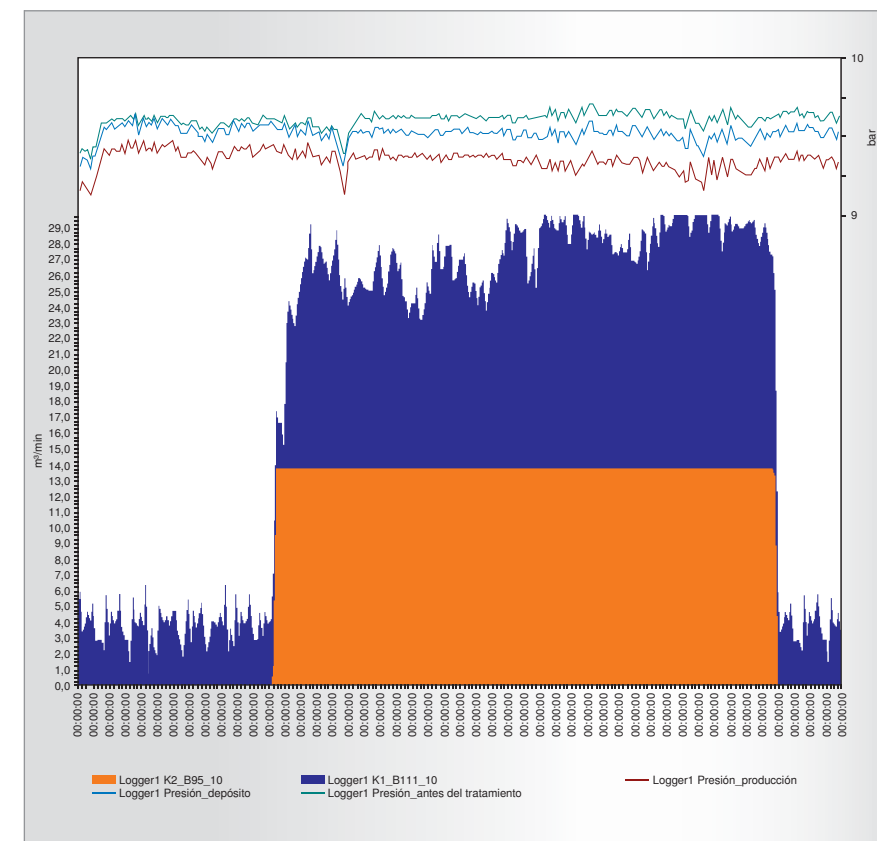


Figura 8: Esquema de presión y consumo de aire comprimido de una empresa industrial basado en mediciones realizadas con ADA

ción desde el cual se controlarán los compresores.

### f) Determinación de los puntos de medición

Tras la visita de inspección al sistema de aire comprimido existente, el especialista puede determinar junto con el usuario los puntos de medición de la demanda de aire. Como mínimo, habrá de realizarse una medición de la presión antes y después del tratamiento y otra en la salida de la red de aire comprimido.

### 6. Medición de la presión y de la demanda de aire (ADA)

Para medir la presión y la demanda de aire se analizará el funcionamiento de la estación durante un mínimo de 10 días con ayuda de los registradores de

datos más modernos. Estos registradores graban los datos más relevantes y los transmiten a un PC, el cual confeccionará un diagrama detallado de consumo. Así es posible reconocer las caídas de presión, las oscilaciones de consumo, las fases de operación en vacío, los periodos de parada y de operación de los compresores así como el reparto de la carga entre las distintas unidades dependiendo de sus potencias y del consumo. Para completar el cuadro, durante el análisis se lleva a cabo también una medición de las fugas. Este proceso se describe en el capítulo 10, (pág. 24 y sig.) y exige para su realización un cierre selectivo de distintos sectores de la red durante un fin de semana.

## Cálculo de la solución más eficiente

La optimización de los sistemas de aire comprimido permitiría ahorrar más de un 30 % de los costos medios de aire comprimido en la industria latinoamericana. La mayor parte de estos costos, de un 70 % a un 90 %, es consecuencia directa del consumo de energía. A la vista de la evolución de los precios, cada vez es más importante para el usuario encontrar la solución de aire comprimido más eficiente desde el punto de vista del consumo.

Los cálculos de optimización con KESS permite configurar rápidamente distintas variantes de estaciones de aire comprimido entre las que elegir la más adecuada para cada usuario. En el caso de planificarse una estación desde cero, la base para realizar los cálculos es el cuestionario de planificación. En el caso de una estación ya existente, el sistema ADA (Análisis de la Demanda de Aire) facilita un informe sobre su funcionamiento característico que sirve de base para el mismo cálculo (ver pág. 29, figura 8).

### 1. Cálculo informatizado

Para optimizar una estación ya existente, se introducen en la computadora los datos técnicos de los compresores que la forman y de las variantes que serían posibles. El sistema KESS calcula en poco tiempo la variante óptima y el ahorro que se puede alcanzar. Al realizar este cálculo se considera no solo el consumo energético puntual con una demanda de aire concreta y unas pérdidas determinadas, sino que se facilita además una visión exacta del consumo de potencia de la instalación durante todo su tiempo de servicio (figura 1).

De esta manera es posible reconocer de antemano y reparar puntos débiles en las fases de carga parcial. El resultado es una clara información sobre el ahorro que se puede conseguir y la amortización de la instalación.

### 2. Lo mejor es combinar

En la mayoría de los casos, la mejor solución consiste en una combinación de compresores de potencias distintas que armonicen perfectamente entre sí. Por regla general se trata de compresores grandes que soportan la carga base y que están combinados con máquinas más pequeñas que llevan la carga variable.

El controlador maestro es el responsable de que se reparta equitativamente el consumo específico de potencia. Para tal fin, elegirá automáticamente la combinación ideal de compresores de carga base y carga variable en cada momento - controlando un grupo de hasta 16 compresores y dentro de un margen de presión de solamente

0,2 bar. Los sistemas de control inteligentes, como el SIGMA AIR MANAGER, cumplen estas funciones. Estos sistemas de control pueden intercambiar datos con los compresores y otros componentes de la estación, como drenajes de condensados, secadores, etc. por medio de una conexión bus. Además, es posible conectarlos al sistema central de mando y transmitirle todos los datos disponibles.

### 3. Optimización constructiva

La planificación y la modernización de una estación de compresores deben adaptarse al máximo a las condiciones de espacio. Los sistemas modernos de planificación, como los que usa KAESER, son de gran ayuda. No sólo

facilitan planos y esquemas TI (tuberías e instrumentación), sino que ofrecen también diseños por ordenador en 3 dimensiones y animaciones. Esto hace posible, por ejemplo, instalar la económica refrigeración por aire incluso en casos de espacio muy limitado y ahorrar así un 30 % - 40 % de costos con respecto a una refrigeración por agua (figura 2a hasta c).

### 4. Optimización del funcionamiento y el control

Para asegurar la economía del suministro de aire comprimido a largo plazo debe conseguirse una buena relación entre los costos y el rendimiento, en primer lugar, y procurar la transparencia necesaria para un buen control de la estación, en segundo. La base para conseguirlo viene dada por el sistema de control interno del compresor, SIGMA CONTROL, un PC industrial con cinco modos de control programados y que permite registrar datos y transmitirlos a una red. El SIGMA AIR MANAGER, otro ordenador industrial, cumple sus mismas funciones, pero a nivel de controlador maestro (página 18). Además de regular de manera óptima y vigilar el funcionamiento de la estación, su función consiste en registrar todos los datos relevantes y transmitirlos a una red informática (ethernet).

La transmisión de datos puede tener lugar por un servidor de internet o por el software SIGMA CONTROL CENTER. El Sigma Air Manager ofrece una visión general de todos los compresores de la estación y de sus datos más importantes en el ordenador en colaboración con el sistema de visualización SIGMA AIR CONTROL. Gracias a este sistema es posible reconocer de un vistazo si la estación está funcionando sin problemas, si hay avisos de avería o mantenimiento y cuál es la presión de servicio.

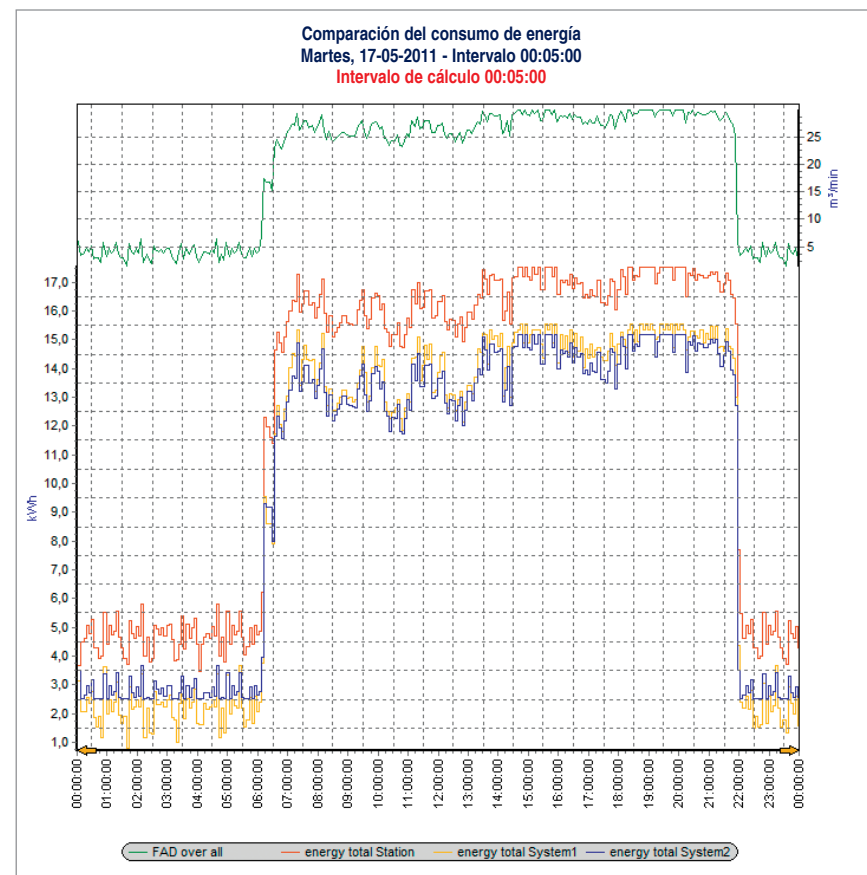


Figura 1: Comparación del consumo energético de una estación de compresores ya existente con las posibles variantes en el curso de un día y dependiendo de la demanda de aire

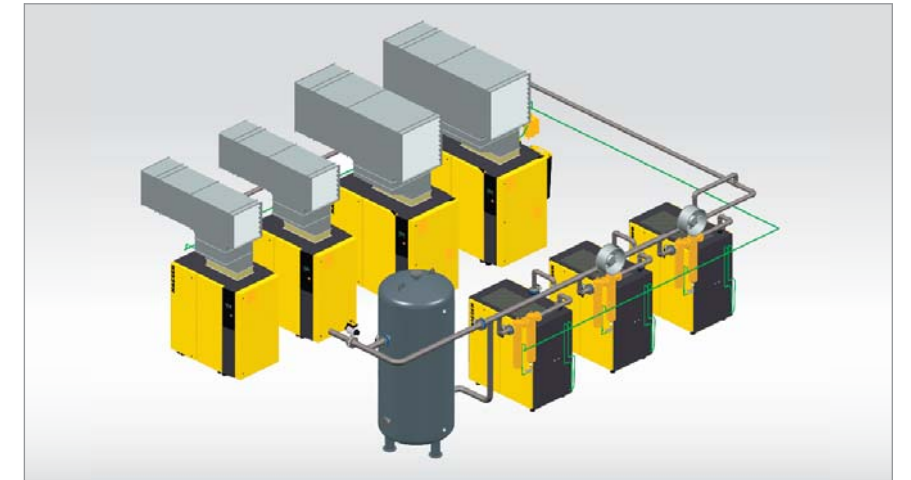


Figura 2a: Planificación optimizada en 3D de una estación de compresores

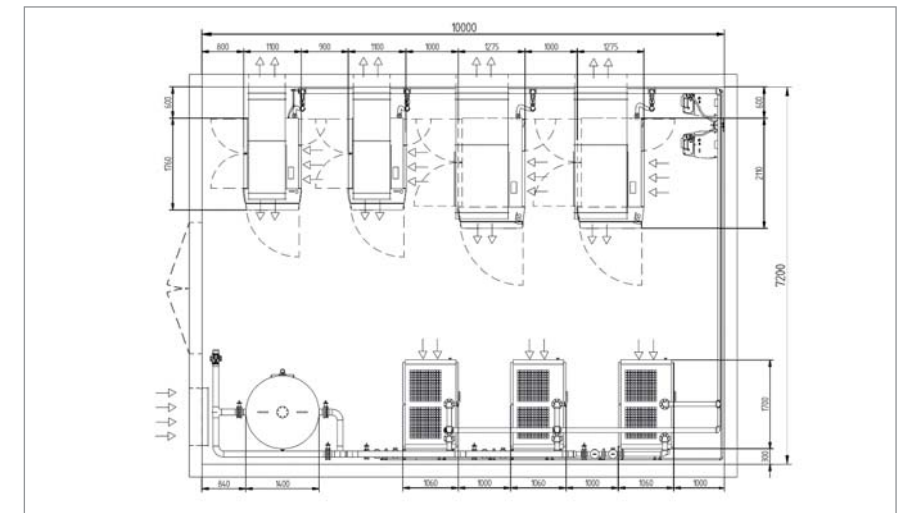


Figura 2b: Planificación de una estación de compresores

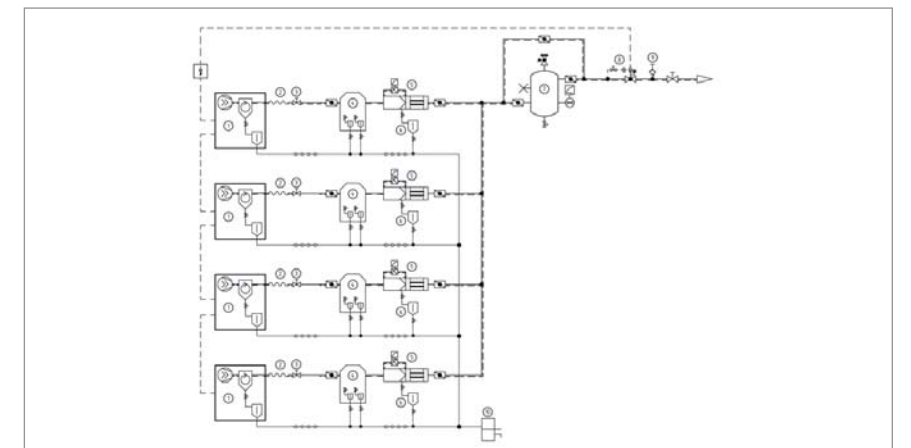


Figura 2c: Esquema T + I de una estación de compresores



## Refrigeración eficiente de la estación de aire comprimido

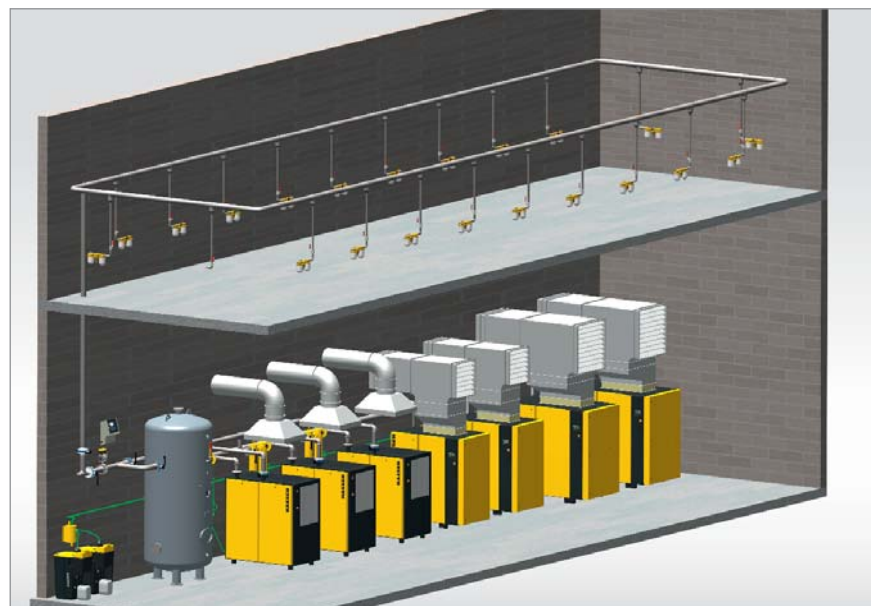
Los compresores transforman en calor el 100 % de la energía que absorben. Un compresor de 18,5 kW produce durante su funcionamiento calor suficiente como para calentar una casa unifamiliar. Por esta razón, la refrigeración eficaz de las estaciones de aire comprimido es imprescindible para garantizar su buen funcionamiento.

El calor derivado por los compresores es un recurso ideal para ahorrar energía. Con la ayuda de los sistemas adecuados, es posible recuperar en forma de calor hasta un 94 % de la energía consumida y volver a aprovecharla, lo cual reduce notablemente los costos de producción del aire comprimido (ver capítulo 8, pág. 20 y sig.). Pero además, en las instalaciones dotadas de un sistema para la recuperación del calor deberá haber un sistema de refrigeración de calidad, con el cual podremos ahorrar un buen dinero. Los costos de refrigeración por aire pueden resultar hasta un 30 % más bajos que los costos de refrigeración por agua. Por tanto, será preferible una refrigeración por aire siempre que exista la posibilidad de elegir.

### 1. El entorno de los compresores

#### 1.1 Un entorno limpio y seco es como un as en la manga

En la Normativa (alemana) para la Prevención de Accidentes, VBG 16 (13.4 Compresores, § 12, apartado 1) se indica: "Los compresores deben instalarse de manera que queden suficientemente accesibles y que se garantice su buena refrigeración". Esta normativa informa de que la temperatura ambiente del lugar de instalación de compresores refrigerados por aire y aceite no debe superar los +40 °C. Además, el artículo 15 añade: "... en la zona de aspiración de los compresores no deberán liberarse sustancias peligrosas". Estos son los requisitos



Ejemplo de una estación con sistema de ventilación y ventilación adicional controlada por termostato para los secadores refrigerativos

básicos para reducir al mínimo el riesgo de accidentes. Si el objetivo es conseguir un servicio económico y con poco mantenimiento del compresor será necesario cumplir otras condiciones.

#### 1.2 La sala de compresores no es un depósito de almacenamiento

Para empezar, la sala de compresores no debe convertirse en un depósito: No deberán almacenarse en ella mobiliarios de otra índole, ni dejar que se acumulen polvo u otras impurezas. El suelo deberá ser resistente a la abrasión a ser posible. Si el aire de aspiración y de refrigeración proceden de un ambiente muy cargado de polvo, partículas de hollín o similares, será imprescindible una filtración preliminar intensiva. Incluso en condiciones de servicio normales, el aire de aspiración y refrigeración deberán purificarse con filtros integrados en los compresores.

#### 1.3 Clima moderado

La temperatura también tiene una gran influencia en la confiabilidad y en la necesidad de mantenimiento de los compresores: el aire de aspiración

y de refrigeración no puede estar ni demasiado frío (<+3 °C) ni demasiado caliente (>+40 °C)\*. En verano, la cara sur y eventualmente la cara oeste del edificio puede verse afectado a un fuerte recalentamiento por efecto de la radiación solar directa. Por eso se recomienda no ubicar las aberturas para la aspiración del aire en lugares castigados por el sol. El tamaño de las aberturas dependerá de la potencia de los compresores y del tipo de refrigeración.

#### 2. Ventilación de la sala de compresores

Será muy importante elegir el sistema de ventilación correcto para cada sala de compresores, no solo en el caso de equipos refrigerados por aire, sino también en el de unidades refrigeradas por agua. En ambos casos deberá derivarse el calor generado en el interior de los compresores y por los motores eléctricos de accionamiento – en total, aprox. un 10 % de la potencia consumida por el accionamiento del compresor.

### 3. Modos de ventilación

#### 3.1. Ventilación natural

El aire de refrigeración es absorbido y calentado por el compresor, a continuación sube y sale, ayudado por la sobrepresión, a través de una abertura de salida localizada en la parte superior (figura 1). Pero este sistema tan sencillo solamente es posible en casos excepcionales y para compresores de potencias inferiores a 5,5 kW. La simple radiación solar y la presión del viento sobre la abertura de salida son suficientes para invalidar la posibilidad de una ventilación natural.

#### 3.2 Ventilación artificial

Este método, practicado con frecuencia, está basado en una corriente de refrigeración dirigida artificialmente. Un control por termostato impide que las temperaturas caigan por debajo de los +3 °C en los meses más fríos del año. Temperaturas demasiado bajas podrían perjudicar el funcionamiento de los compresores, la evacuación y el tratamiento de los condensados. El control por termostato es necesario porque las salas de compresores con ventilación artificial se encuentran a una cierta presión negativa que dificulta la salida del aire caliente hacia el exterior. Existen dos modalidades de refrigeración artificial:

##### 3.2.1 Ventilación con ventilador externo

Consiste en instalar un ventilador con control por termostato en la abertura de salida del aire, que aspirará hacia el exterior el aire calentado por los compresores (figura 2). Al usar este sistema, es importante dimensionar la abertura de aspiración (abajo a la derecha) con las medidas suficientes, ya que si es demasiado pequeña, un exceso de presión negativa iría acompañado de una corriente de aire fuerte y ruidosa. Además, perjudicaría la refrigeración de la sala. El sistema

de ventilación deberá diseñarse de manera que el aumento de temperatura provocado por el calor que derivan los compresores no supere los 7 K, ya que de lo contrario podría producirse un cortocircuito térmico y los compresores se pararían.

##### 3.2.2 Ventilación con conducto de escape

Los compresores de tornillo modernos, compactos y totalmente encapsulados, ofrecen la posibilidad de aplicar un sistema de refrigeración ideal con la ayuda de un conducto de escape: El compresor aspira el aire de refrigeración por medio de una abertura y expulsa después el aire caliente a través de un conducto que lo conduce directamente al exterior de la sala de compresores (figura 3). La ventaja decisiva de este método radica en que es posible calentar mucho más la corriente de ventilación, hasta unos 20 K aproximadamente, con lo cual se reduce la cantidad de aire de refrigeración necesaria. Normalmente, los ventiladores instalados de serie en los compresores son suficientes para expulsar el aire, es decir, que al contrario de lo que sucede con un ventilador externo, en este caso no sería necesario un consumo adicional de energía. Ahora bien, esto sólo será posible si no se sobrepasa la presión residual de los ventiladores. Además, el canal de escape deberá estar equipado con una escotilla regulada por un termostato (figura 4) con el fin de evitar el enfriamiento excesivo de la sala en invierno. Si se instalan en la misma sala secadores que también estén refrigerados por aire, habrá que procurar que la refrigeración de unos no influya negativamente en la de los otros. A temperaturas por encima de +25 °C es recomendable aumentar la corriente de aire de refrigeración con un ventilador adicional regulado por termostato.

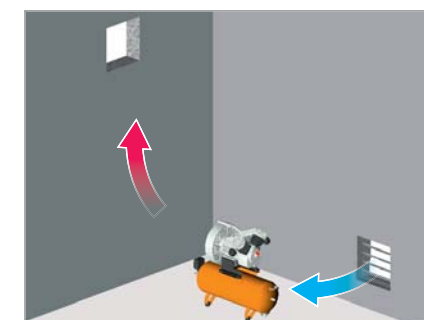


Figura 1: Ventilación natural para unidades hasta 5,5 kW



Figura 2: Ventilación artificial con ventilador externo: para unidades de 5,5 a 11 kW



Figura 3: Ventilación artificial con ventilador externo: para unidades desde 11 kW

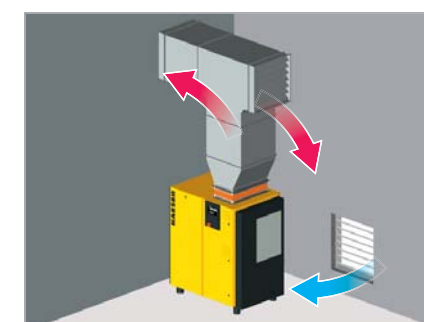


Figura 4: Una escotilla regulada por termostato crea el equilibrio térmico

Capítulo 14

# Cómo mantener a largo plazo la confiabilidad y la optimización de los costos

De la página 22 hasta la 33 hemos explicado cuáles son los puntos importantes a la hora de corregir o instalar una red de aire comprimido y cómo se planifica una estación eficaz. Pero con una planificación y construcción que tengan como meta el ahorro energético y la reducción de los costos solo habremos hecho la mitad del trabajo: Los usuarios que pretendan asegurarse la economía del sistema a largo plazo deberán procurar también un servicio eficaz de la producción de aire comprimido.

Buscar la máxima eficacia en la producción del aire comprimido vale la pena para el usuario por varios motivos: La seguridad de suministro se verá mejorada, al tiempo que los costos de producción de aire comprimido y el consumo energético se reducirán. La posibilidad de ahorro es enorme: Según el estudio "SAVE II" de la UE, en el año 2000 los compresores europeos consumieron 80 millones de kWh, de los que al menos el 30 % podría haberse ahorrado (figura 1).

### 1. ¿Qué se entiende por economía óptima?

La economía de un sistema de aire

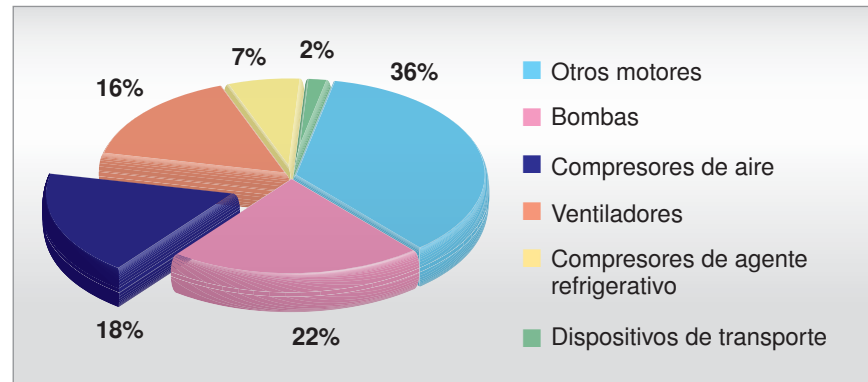


Figura 1: Parte del consumo de energía industrial causada por accionamientos eléctricos en la UE correspondiente a los compresores (fuente: SAVE II (2000))

comprimido se refleja directamente en sus costos. El óptimo alcanzable en cada caso será distinto, dependiendo de las condiciones de servicio y producción. Los periodos de operación de los compresores, el nivel de presión y otros parámetros comerciales son decisivos.

Vemos aquí un ejemplo de sistema optimizado con una estación de compresores refrigerada por aire: tiempo de funcionamiento, 5 años, precio de la electricidad, 0,08 USD/kWh, tipo de interés, 6 %, sobrepresión de servicio, 7 bar, calidad del aire comprimido según la ISO 8573-1: aceite residual clase 1,

polvo residual clase 1, agua residual clase 4. Este ejemplo demuestra, entre otras cosas, que, incluso en condiciones óptimas, el consumo energético sigue suponiendo la mayor parte de los costos, alcanzando el 70 % (figura 2). Un estudio de la Escuela Técnica de Ingeniería de Coburg del año 2003 (figura 3, pág. 35) puso en evidencia las anomalías de las estaciones de aire comprimido instaladas en Alemania.

### 2. Economía a largo plazo

Para asegurarnos de que nuestra producción de aire comprimido va a seguir siendo eficaz durante mucho tiempo, habremos de tener en cuenta algunos puntos importantes:

#### 2.1 Mantenimiento adaptado a las necesidades

Los controladores internos modernos como "SIGMA CONTROL", y los controladores maestros, como "SIGMA AIR MANAGER 4.0", ambos basados en un PC industrial, informan de modo exacto sobre los intervalos de mantenimiento de los componentes de la estación, permitiendo realizar un mantenimiento preventivo y ajustado a las necesidades. El resultado son unos costos menores de mantenimiento, una mejora de la economía y la confiabilidad del sistema y, en consecuencia, una mayor seguridad de la producción.

#### 2.2 Uso de herramientas neumáticas adecuadas

El peligro de ahorrar en lo que no se debe no acecha solamente en la producción del aire comprimido, sino también en el consumo. Por ejemplo, cuando se adquieren máquinas de producción a buen precio, pero que exigen una presión de servicio mayor. El hecho de tener que elevar la presión del aire o ampliar el sistema de producción de aire comprimido supondrá un gasto mucho mayor que si se adquieren máquinas capaces de funcionar a una presión menor, por ejemplo a 6 bar. Por esta razón deberían aplicarse unas directivas para la compra de máquinas de producción que tengan en cuenta no solamente la alimentación eléctrica, sino también la de aire comprimido.

#### 2.3 Modificación de los requisitos de la producción

##### 2.3.1 Consumo de aire comprimido

##### a) Modificación de la producción

Las oscilaciones en el consumo de aire comprimido están al orden del día en muchas plantas de producción. Con frecuencia no se da a este factor la importancia que merece, y puede suceder que, después de una reforma, los compresores funcionen con carga insuficiente en un turno determinado mientras que en otro la demanda sea tan grande que se agoten incluso las reservas de seguridad. Por esa razón, el suministro de aire comprimido deberá adaptarse a las condiciones cambiantes de la producción.

##### b) Ampliación de la producción

En caso de una ampliación, no solo deberán aumentar las potencias de los compresores, sino también la capacidad de las tuberías y de los aparatos de tratamiento del aire. A la hora de ampliar la capacidad de producción de una fábrica realizando una reforma en un sistema ya existente, es recomen-

## Anomalías en estaciones de aire comprimido y en espacios de producción

### Estación de aire comprimido



### Producción

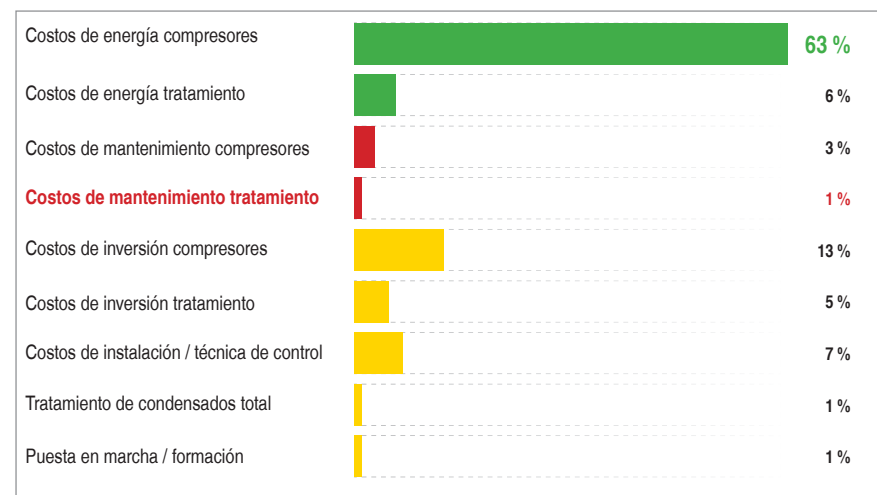
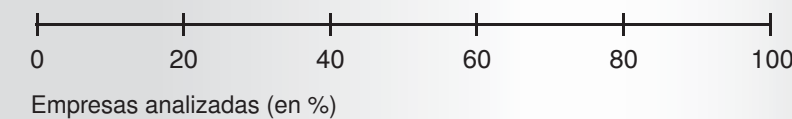
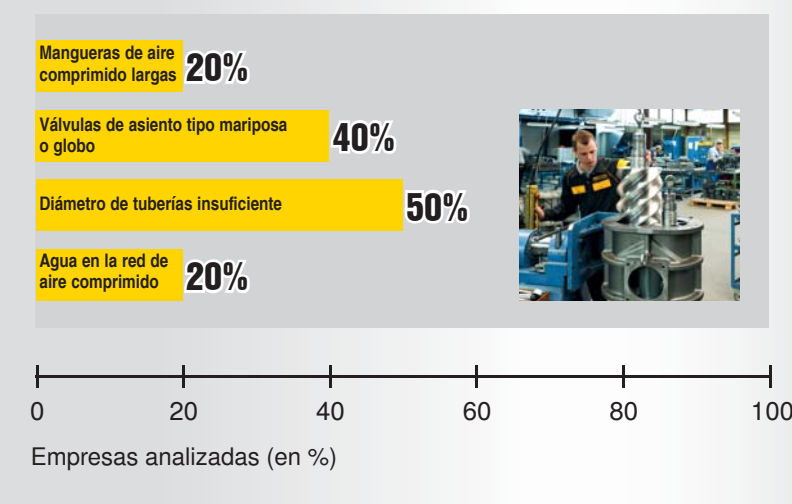


Figura 2: Estructura de los costos de un sistema de aire comprimido optimizado

Figura 3: Análisis de los resultados de auditorías de aire comprimido realizadas por KAESER KOMPRESSOREN para la campaña "Druckluft-effizient" (Aire comprimido eficiente). Proyecto de Grado de Anja Seitz, Escuela Técnica de Ingeniería de Coburg, departamento de Ingeniería Mecánica (2003)

Capítulo 14

# Cómo mantener a largo plazo la fiabilidad y la optimización de los costos

dable medir y documentar el consumo de aire real de la instalación, y recabar información lo más detallada posible para poder adaptar la producción de aire comprimido a las necesidades reales.

### 2.3.2 Seguridad en el suministro

Es habitual equipar las estaciones de aire comprimido con un compresor de reserva (standby). Sin embargo, en el tratamiento del aire comprimido suelen no preverse reservas de seguridad. Cuando el consumo sube, el compresor en standby se pone en operación, pero



Figura 4: Localización de fugas por ultrasonidos

la calidad del aire comprimido puede sufrir deterioro por falta de capacidad de tratamiento. Por lo tanto, por cada compresor de reserva que se instale, será lógico instalar también los aparatos de tratamiento correspondientes (secadores, filtros).

### 2.3.3 Cambios en la calidad del aire

Para aquellos casos en los que se precise una mejora de la calidad del aire, la primera cuestión será si se trata de una mejora generalizada o solamente para una parte del aire comprimido que se produce. En el primer caso no será suficiente con cambiar o mejorar el equipo central de tratamiento del aire, sino que también habrá que lim-

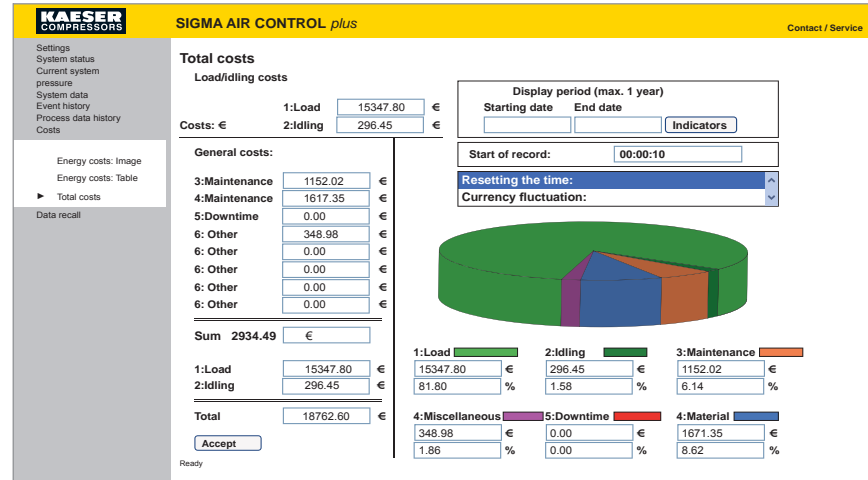


Figura 5a: Controlador maestro: Análisis de los costos del aire comprimido (basado en la red)

piar las tuberías que hayan conducido hasta ese momento un aire con mayor contenido de impurezas. En el segundo caso es conveniente montar un sistema descentralizado de tratamiento capaz de suministrar la calidad deseada. Para garantizar dicha calidad deberá instalarse un dispositivo para limitar el volumen de flujo de calidad superior. De otro modo, el sistema de tratamiento podría sufrir una sobrecarga de flujo, ya que estará diseñado para un caudal máximo, como es natural.

### 2.4 Control de fugas

Las fugas aparecen incluso en las redes de aire comprimido mejor mantenidas, y además tendrán la tendencia a ir creciendo. Estos escapes pueden provocar grandes pérdidas de energía. La causa principal de las fugas es el desgaste de las herramientas, mangueras y demás componentes (figura 4). Por eso es vital observar si existen daños de este tipo en la instalación y tomar las medidas necesarias inmediatamente. Además, es recomendable

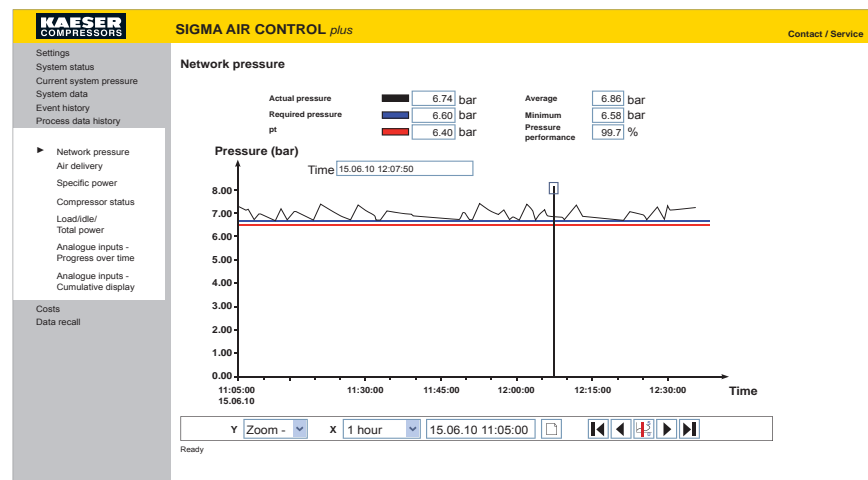


Figura 5b: Evolución de la presión

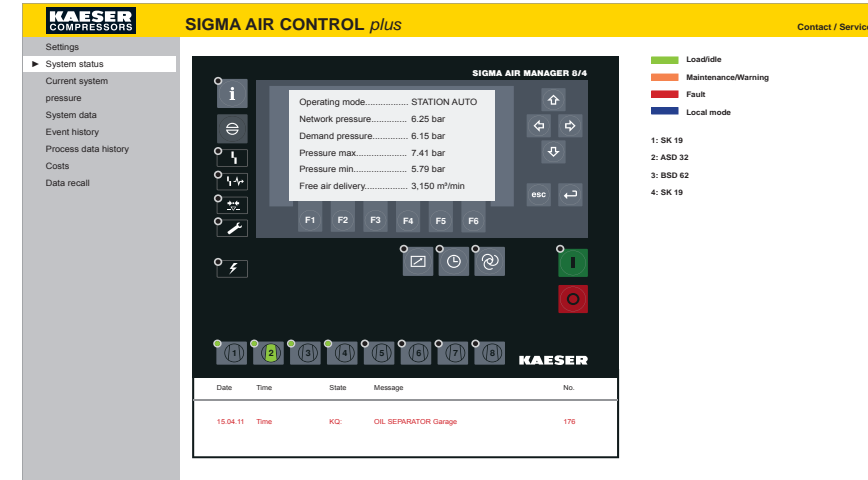


Figura 5c: Sumario: Controlador interno y controlador maestro

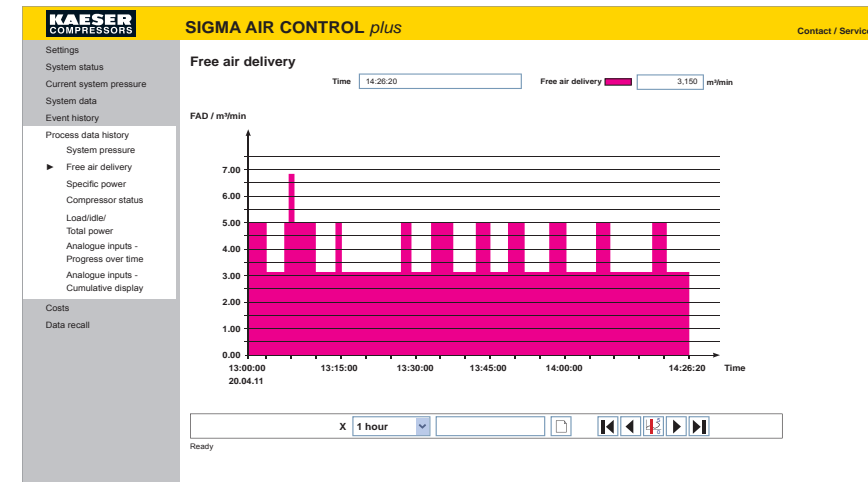


Figura 5d: Consumo de aire comprimido

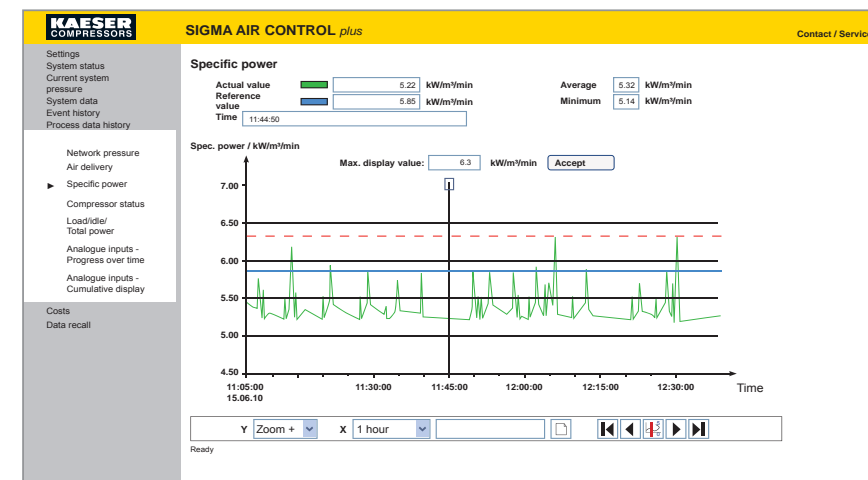


Figura 5e: Consumo de potencia específica

medir en cada turno el alcance total de las fugas con ayuda de medios modernos de control y monitorización, como el SIGMA AIR MANAGER. Si se registra un aumento de las pérdidas de aire, las fugas deberán localizarse y repararse.

### 3. La buena gestión de los costos: Pensando a favor del usuario.

Los datos recabados durante el análisis para la planificación, una vez actualizados, son interesantes también para el servicio posterior. Pero no será necesario realizar análisis adicionales para recopilar datos posteriormente. Sistemas como SIGMA AIR MANAGER hacen el trabajo por usted. Así se cuenta en todo momento con una base para auditorías de aire comprimido y para una gestión eficaz de los costos (figura 5a hasta e). Cuantos más usuarios mejoren la transparencia de sus costos de aire comprimido, saquen provecho de los posibles ahorros y den importancia al alto rendimiento energético al adquirir los componentes de su estación de aire comprimido, más cerca estaremos de reducir el consumo energético en un 30 % o más, favoreciendo así a las economías de las empresas como también al medio ambiente.

# Consejos Prácticos

---

Consejos 1 - 7

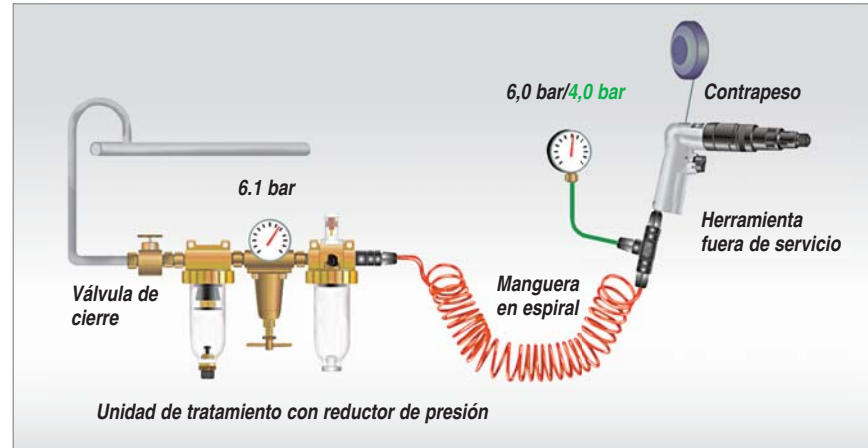
**40-51**

Consejo 1

# Optima presión - Mayor eficiencia energética

La economía de un sistema de aire comprimido depende en gran parte de si se elige o no la presión de servicio correcta. Las pequeñas medidas pueden tener una gran repercusión en este sentido.

En muchas ocasiones, la conexión de las herramientas neumáticas se realiza del modo siguiente: Mientras no están en operación, la unidad de mantenimiento está a 6,1 bar, y la herramienta a 6,0 bar. Esta presión no es igual cuando se está consumiendo aire.



Conexión de herramienta con manguera en espiral – presión 6,0 bar mientras no se consume aire comprimido. 4,0 bar con herramienta en operación = 2 bar de caída de presión: rendimiento solo al 54 %

**Caída de presión en la herramienta – ¿qué hacer?**

En muchas mediciones se muestra que la entrada en funcionamiento de las herramientas va ligada a una caída notable de la presión. En el ejemplo siguiente, se trata de 2 bar; esto significa que la herramienta solo está rindiendo al 54 % de su capacidad total. Las causas suelen tener fácil solución:

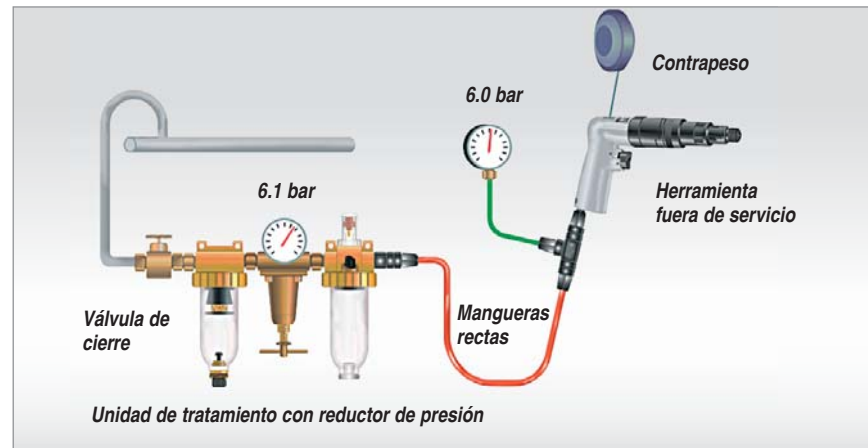
**a) Sección de conexión insuficiente:** instalar una conexión rápida con una sección mayor.

**b) Reductor de presión mal ajustado:** abrirlo más.

**c) Presión del sistema insuficiente:** elevar la presión de la red principal o instalar tuberías de un diámetro mayor.

**d) Manguera en espiral demasiado pequeña:** usar una manguera en espiral mayor o – mejor aún – cambiarla por una recta.

**e) Caída de presión en separador de agua descentralizado:** secar el aire comprimido de forma centralizada (separador innecesario). Con estas medidas es posible conseguir la presión óptima en la herramienta (6 bar en este caso). Al hacerlo, rendirá al 100 %.

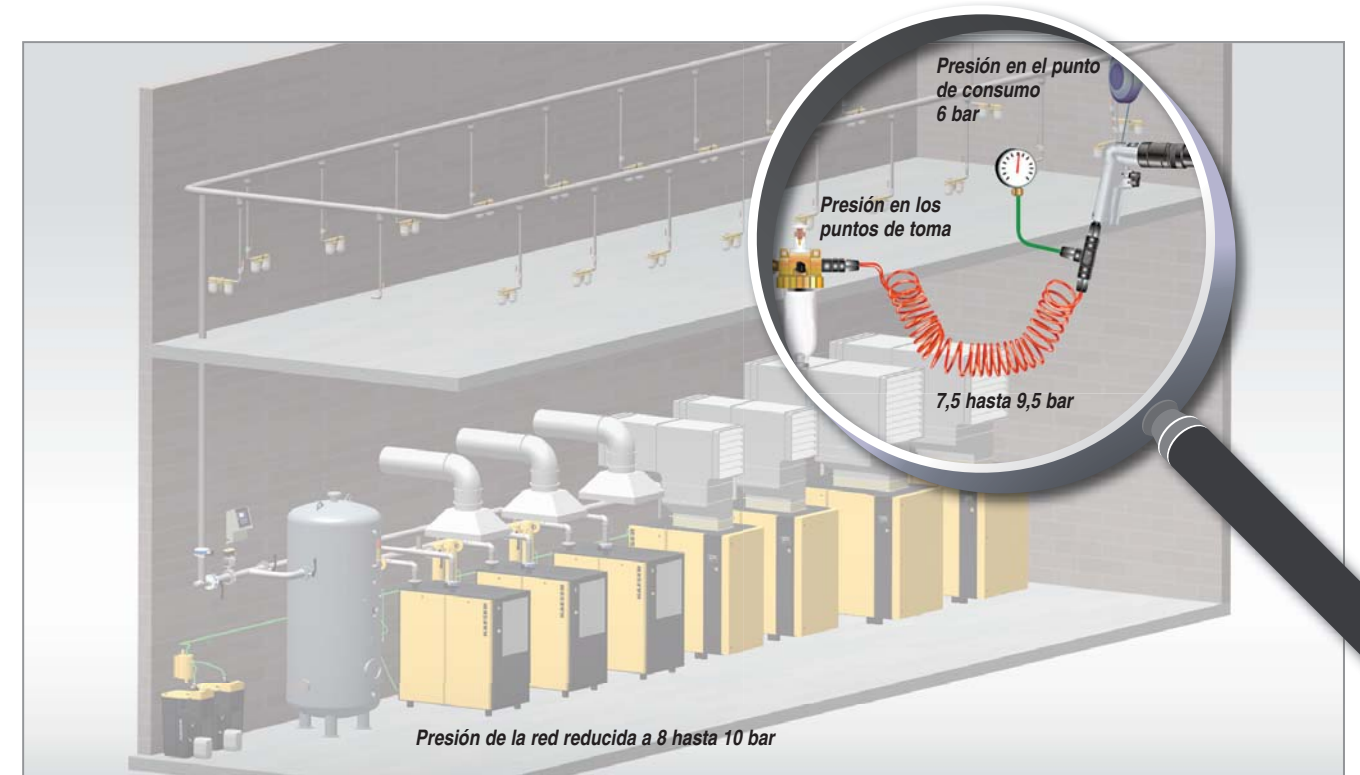


Los separadores de agua y las mangueras en espiral son devoradores de energía: Para sustituirlos, elija un secado centralizado del aire comprimido y mangueras rectas

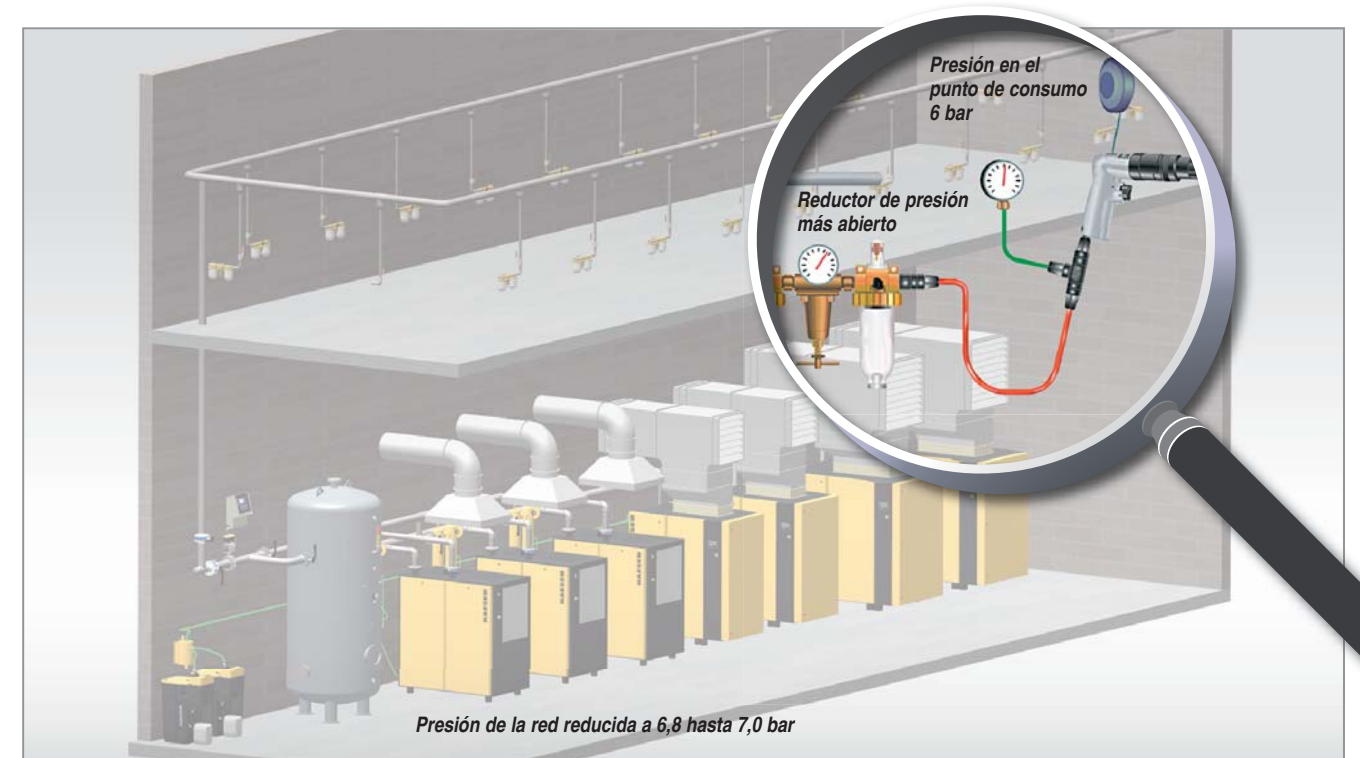
**Ahorrar energía con un simple giro**

Los reductores de presión influyen en la eficiencia del sistema mucho más de lo que se suele pensar. En el ejemplo siguiente mostramos un sistema de aire comprimido que funciona a una presión de entre 8 y 10 bar. Las presiones de entre 7,5 y 9,5 bar que llegan a los puntos de consumo se reducen a 6 bar con la ayuda de reductores de presión. La presión del sistema se reduce a 6,8 hasta 7 bar para ahorrar energía. Al hacerlo, la presión en los puntos de toma es de 6,1 bar, pero a los consumidores solo llegan 4 bar. Las consecuencias: mayor duración

del trabajo, resultados defectuosos por falta de presión en las herramientas y tiempos de operación de los compresores más largos. El ahorro que pretendía conseguirse habría sido posible si, además de reducir la presión del sistema, se hubiesen instalado mangueras rectas, desmontado los separadores superfluos y abierto un poco más los reductores de presión de los puntos de consumo.



Despilfarro de energía: Comprimir a presión excesiva para luego reducir la presión en el punto de consumo...



... en lugar de eso: Reducir la presión del sistema y abrir más los reductores de presión

## Consejo 2

## Presión correcta en la estación de aire comprimido

**La presión en la estación de compresores es correcta, pero no llega a los puntos de consumo. ¿Por qué pasa eso?**

No es extraño que "la culpa" sea con frecuencia de las mangueras, los enchufes rápidos o de los reductores de presión. Pero muchas veces, la presión en los puntos de toma de la red principal es ya demasiado baja: puede suceder, por ejemplo, que de la presión original, de entre 6,8 y 7 bar, lleguen a los consumidores solamente 5 bar.

La solución que se le suele dar a este problema es la más rápida: "Pues subimos la presión de la estación 1 bar y ya está". Pero no es conveniente hacerlo, ya que cada bar que se aumenta hace que suba el consumo de energía en un 6 %, además de las pérdidas por fugas. Lo mejor es buscar las causas y consultar con un especialista.

### Origen del problema en la red de tuberías

Si la presión que sale del compresor es correcta y los aparatos de tratamiento no provocan una reducción excesiva, el fallo puede estar en la red de tube-

ría. La red se divide en tres partes: Red principal, red de distribución y red de conexión (figura 1). En un sistema de aire comprimido optimizado se dan comúnmente las siguientes pérdidas de presión:

Red principal (1):	0.03 bar
Red de distribución (2):	0.03 bar
Red de conexión (3):	0.04 bar
A estas pérdidas deben añadirse:	
Secador (4):	0,2 bar
Unidad manten./manguera (5):	0,5 bar
<b>Total:</b>	<b>0,8 bar</b>

### Eliminar los "cuellos de botella"

Las redes principales y de distribución suelen estar correctamente dimensionadas, pero las de conexión son con frecuencia demasiado estrechas. El diámetro de las tuberías no debe ser inferior a DN 25 (1").

KAESER KOMPRESSOREN ofrece una herramienta específica en su página web para calcular el diámetro exacto de las tuberías.

<http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner/druckabfall/>.

Además, también es posible utilizar un

nomograma especial. Lo puede encontrar en el anexo 1, pág. 54 y sig..

### Observar la conexión correcta

Con el fin de evitar posibles daños debidos a la presencia de humedad, la conexión entre la red de distribución y la de conexión habrá de realizarse por medio de un "cuello de cisne" (figura 2). Solo podrán conectarse ambas redes con una tubería de bajada directa (figura 3) si está totalmente garantizado que no se vaya a formar condensado de agua. La conexión óptima con una pérdida de presión máxima de 1 bar desde la salida del compresor hasta el punto de consumo sería la que se muestra en la página 40.

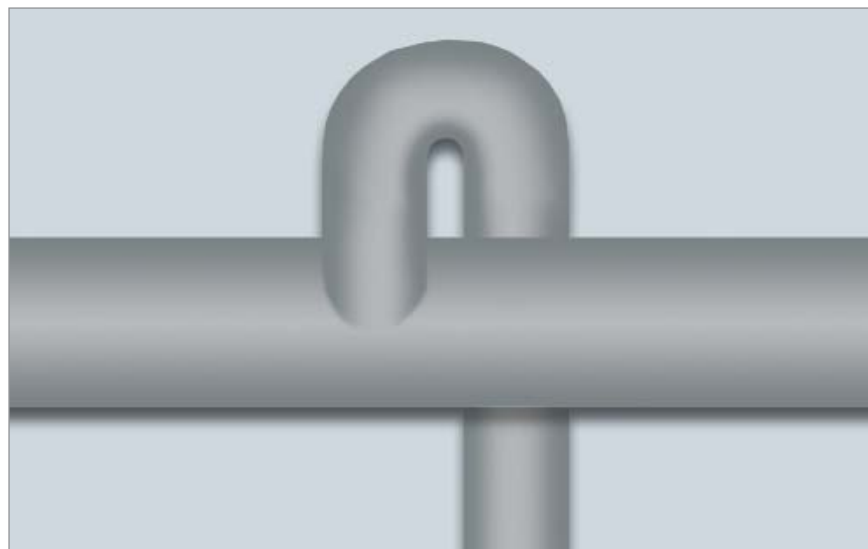


Figura 2: Cuello de cisne

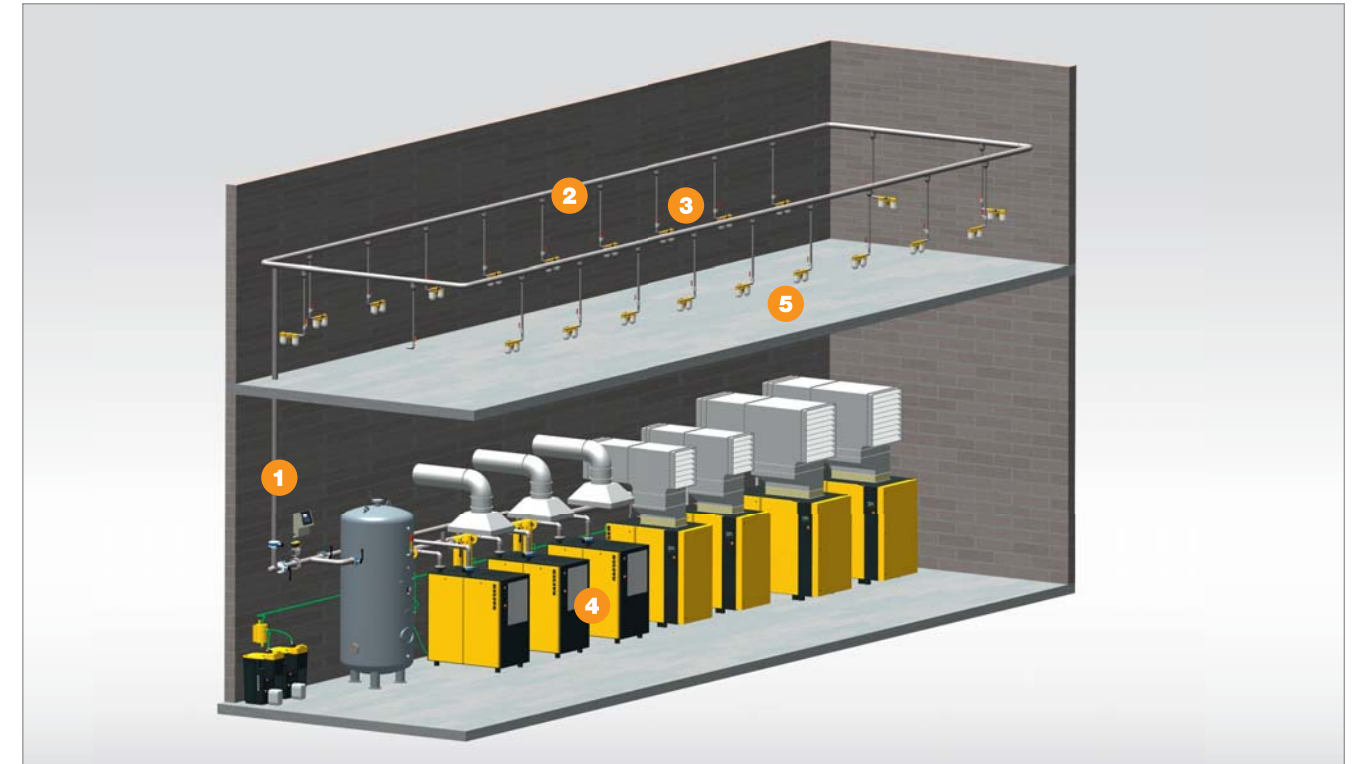


Figura 1: Partes principales de un sistema de distribución de aire comprimido: Tubería principal (1), tubería de distribución (2), tubería de conexión (3), secador (4), unidad de mantenimiento/manguera (5)

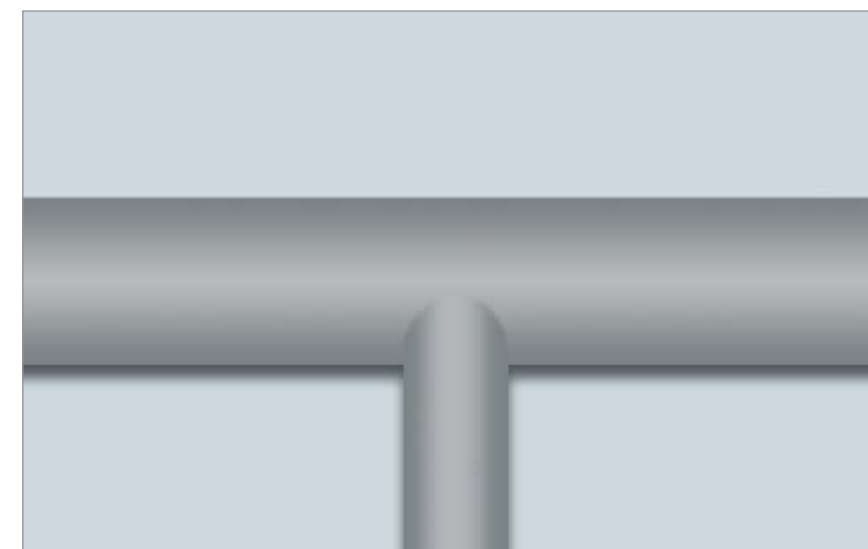


Figura 3: Tubería bajada directa

## Consejo 3

## Distribución eficiente del aire comprimido

Al elegir la manera de distribuir el aire comprimido en la producción – tubería recta, tubería en anillo, entramado de tuberías – deberán tenerse en cuenta las características de la producción. Si se quiere usar el aire comprimido de forma económica, no solo deberá producirse con el menor consumo posible, sino que también deberá distribuirse con eficiencia. Aquí le contamos cómo hacerlo.

**Tubería recta**

Instalar una tubería recta con derivaciones hacia los distintos consumidores (figura 1) es relativamente sencillo. La longitud de la tubería es corta comparada con otras, pero ha de tener suficiente capacidad de transporte para el consumo total.

Esto quiere decir que su diámetro deberá ser mayor que el de una tubería anular o un entramado de tuberías. Las tuberías de conexión a los consumidores también son más largas debido a las mayores distancias, por lo que también deberán dimensionarse con generosidad. En una tubería recta no es posible hacer cortes parciales para trabajos de ampliación o saneamiento, por lo que este sistema solo será adecuado para empresas pequeñas.

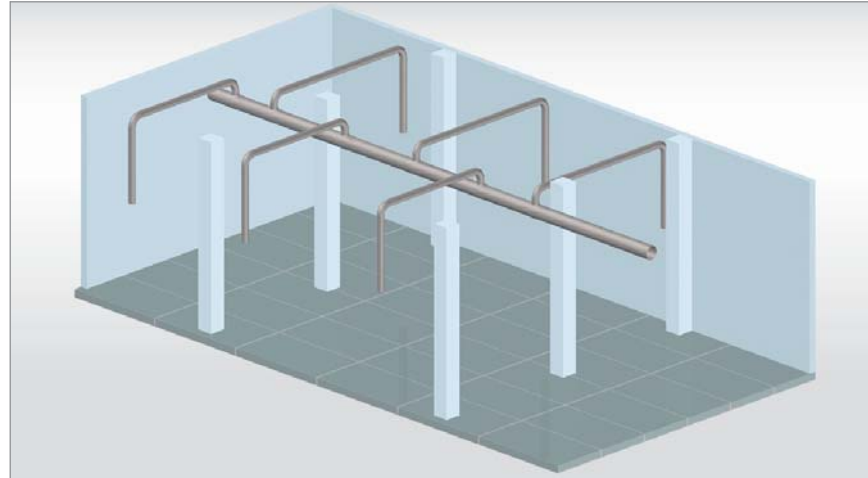


Figura 1: Tubería principal recta de aire comprimido

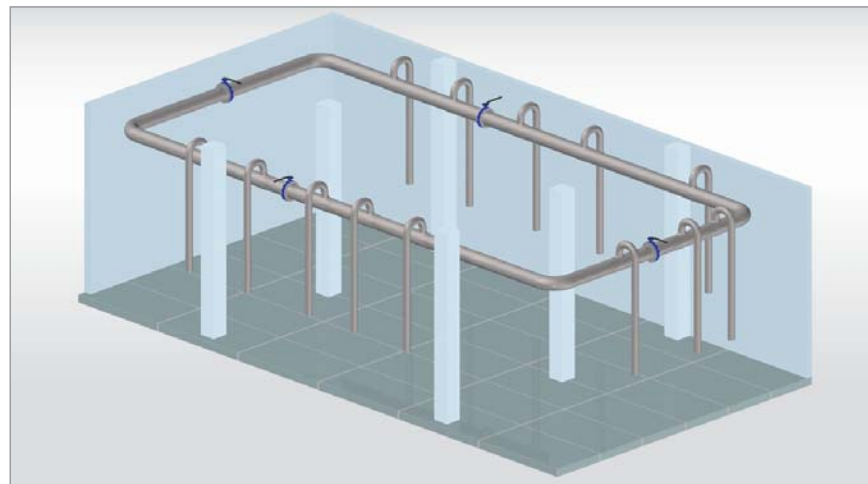


Figura 2: Tubería anular de aire comprimido

**Tubería anular**

A pesar de exigir más trabajo de instalación, las tuberías anulares (figura 2) presentan una ventaja decisiva con respecto a las tuberías rectas: Si hay consumidores que presentan el mismo consumo de aire comprimido es posible reducir a la mitad las longitudes de las tuberías y los volúmenes. Es posible conseguir la misma capacidad de transporte con tuberías de menor sección. Las conducciones de conexión son más cortas y no suelen ser mayores que DN 25. Con un número suficiente de dispositivos de cierre será posible cortar el paso del flujo a tramos determinados para proceder a su lim-

pieza o a trabajos de ampliación con el sistema en operación.

**Tuberías en entramado**

Para las empresas que cuentan con grandes superficies de producción es recomendable un sistema de tuberías entramadas, esto es, con conexiones en paralelo y en perpendicular (en malla) a una conducción anular amplia (figura 3). La instalación de este sistema es la que exige más esfuerzo, pero también son más sus ventajas: gracias a la estructura entramada, es posible llevar el suministro de aire

comprimido de forma fiable y eficiente a todos los rincones en grandes salas sin longitudes de tuberías excesivas. Todo lo contrario: La estructura en entramado, igual que sucede con el sistema anular en empresas pequeñas y medianas, permite reducir las dimensiones de las conducciones. Y del mismo modo puede cerrarse el paso del flujo a tramos determinados.

**Diseño de la(s) tubería(s) principal(es)**

La conducción principal del sistema de aire comprimido conecta las tuberías

de distribución de los distintos sectores (edificio) con la estación de compresores (producción).

Lo decisivo para el dimensionado de la conducción principal de aire comprimido es el caudal total de los compresores instalados. Ese dato es el que determina la medida y la capacidad que ha de tener la tubería. La pérdida de presión no debe exceder los 0,03 bar.

**Suministro con una sola estación**

Si hay una estación de compresores que suministra aire comprimido a varios sectores de la producción salas, la tubería principal que se dirige a cada sector deberá estar diseñada para responder al consumo máximo de aire de ese sector determinado (pérdida de presión < 0,03 bar). Las tuberías reunidas en un colector en la estación de compresores ofrecen la ventaja de poder cortar con facilidad el suministro de aire comprimido a sectores enteros de la producción en caso de necesidad. Además, la instalación de caudalímetros permite definir con sencillez los consumos de cada sector (figura 4).

**Suministro con varias estaciones**

Si son dos o más las estaciones de compresores que alimentan un gran sistema de tuberías principales, éstas deberán dimensionarse de manera que llegue el máximo de caudal de la estación más grande a todos los sectores de producción. La pérdida de presión de cada una de las estaciones no deberá superar las 0,03 bar. De lo contrario, serán necesarios costosos sistemas de control (figura 5).

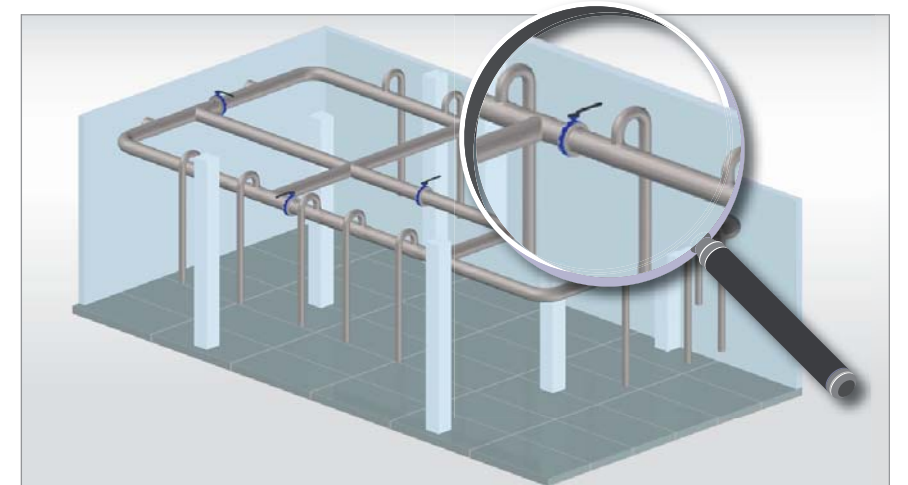


Figura 3: Sistema entramado de tuberías de aire comprimido

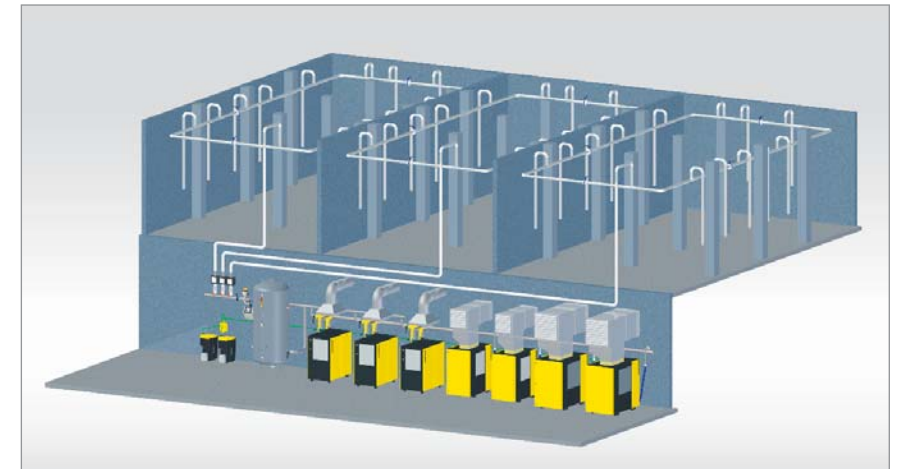


Figura 4: Suministro de aire comprimido con una estación de compresores central que alimenta varios sectores de producción

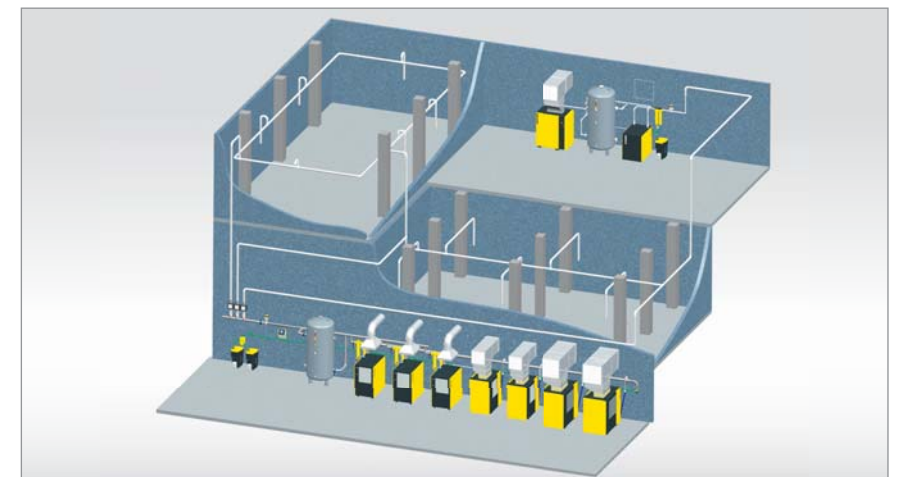


Figura 5: Suministro de aire comprimido con dos estaciones de compresores y control centralizado para varios sectores de producción

## Consejo 4

## Tuberías de la estación de aire comprimido

Además de distribuir el aire comprimido en la planta, las tuberías tienen la función de conectar los compresores y demás componentes de la estación con el resto del sistema. Para conseguir el máximo de seguridad operativa y eficiencia deberán observarse varios puntos importantes en la instalación.

En términos generales, las tuberías de una estación de aire comprimido deben estar diseñadas de manera que la pérdida de presión que causen a máximo rendimiento no sobrepase de 0,01 bar. Además, es recomendable usar tuberías de metal, ya que no es posible determinar la carga térmica que van a soportar.

#### Conexión de las tuberías de distribución de aire comprimido

Para conectar las tuberías en la estación a la red de aire comprimido es recomendable usar un colector del que partan después todas las tuberías de distribución (figura 1.1). Así puede cerrarse el paso de flujo a un sector determinado en caso necesario.

#### Instalación en el sector húmedo

En el sector donde el aire comprimido aún está cargado de humedad, es decir, en las tuberías que van desde los compresores a los secadores, no deberán instalarse trampas de agua. Si no, las tuberías deberán instalarse con pendiente en dirección a la trampa de agua, y ésta deberá vaciarse por medio de un drenaje de condensado (figura 2).

#### Conexión correcta de los componentes

Los distintos componentes de la estación de compresores (compresores, secadores, etc.) deben conectarse desde arriba con la tubería principal. A partir de un diámetro DN 100 pueden conectarse también lateralmente (figura 3 a/b).

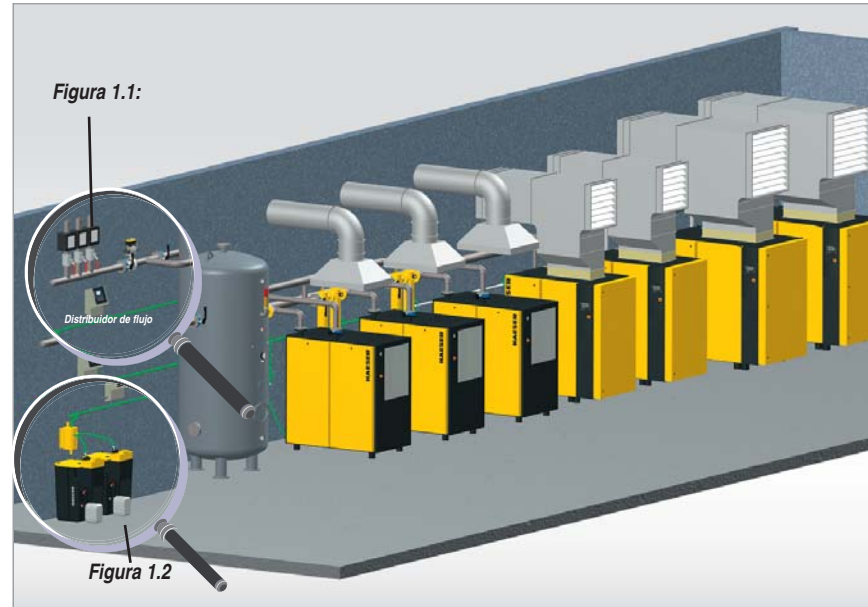


Figura 1: Estación de compresores con colector de tuberías

#### Conexión de los compresores

Los compresores deben conectarse a la red de tuberías con una conexión elástica que absorba las vibraciones e impida que se traspasen a la red. Para diámetros < DN 100 pueden usarse conexiones por medio de mangueras (figura 4). Entre la manguera y la primera curvatura de la tubería se instala una fijación que absorbe las fuerzas, evitando que se traspasen a la tubería (figura 4.1). Para diámetros de tubería > DN 100 deben usarse compensadores axiales (figura 3b) en lugar de mangueras para conseguir una conexión elástica a la red de tuberías.

#### Eliminación segura del condensado

La eliminación segura del condensado que se forma en el sistema es condición fundamental para lograr una seguridad operativa óptima y mejorar la disponibilidad de la estación. Es importante no cometer errores al instalar las conducciones de condensado.

De poco sirve usar la técnica de evacuación de condensado más moderna si luego se realizan mal las conexiones

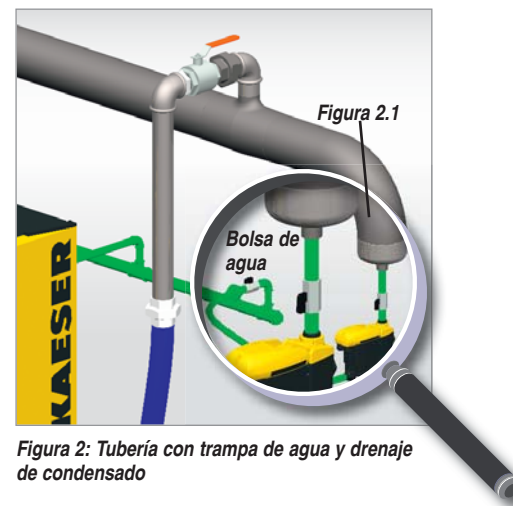


Figura 2: Tubería con trampa de agua y drenaje de condensado

a los sistemas de tratamiento de condensado. Observando los siguientes consejos evitará cometer tales errores:

#### Cerrar los drenajes de condensado

Los drenajes de condensado deben contar con una llave de bola en cada lado para que sea posible aislarlos fácilmente de la red en caso necesario (figura 2.1).

#### Conexiones de tamaño correcto

La conexión a la tubería colectora debe

ser de al menos 0,5 pulgadas. Esa será la única manera de evitar que se forme presión dinámica.

#### Conexión desde arriba

Las tuberías de condensado deben conectarse a la tubería colectora desde arriba para que los puntos de derivación no puedan afectarse entre sí (figura 3a (1)).

#### Tubería sin presión – con pendiente

En cualquier caso, la tubería colectora de condensado deberá instalarse con caída libre. Además, no deberá estar expuesta a presión. Estas deben ser las características de la tubería que recoja el condensado de distintos componentes del sistema (separadores centrífugos, tanques de almacenamiento de aire comprimido, secadores refrigerativos, filtros de aire comprimido) con diferentes niveles de presión. Si no se dan estas condiciones, deberá haber puntos de conexión distintos al aparato de tratamiento del condensado (Aquamat).

#### Más de un equipo de tratamiento

Si se necesita más de un aparato de tratamiento debido a la gran cantidad de condensado que se forma, la tubería principal de condensado deberá conectarse por medio de un distribuidor de flujo (figura 1.2).

#### Presión del sistema superior a 15 bar

En aquellos sistemas en los que la presión supera los 15 bar deberá instalarse una cámara de relajación de alta presión antes de la entrada del condensado al equipo de tratamiento.

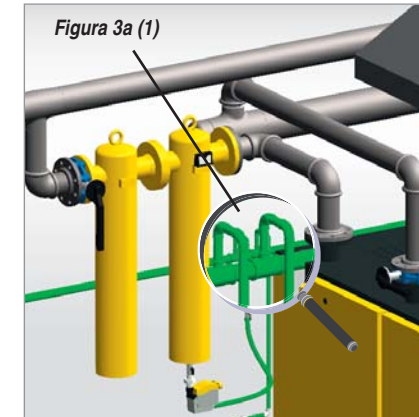


Figura 3a: Conexión de un secador refrigerativo y un drenaje de condensado (desde arriba)



Figura 3b: Conexión flexible del compresor por medio de un compensador axial

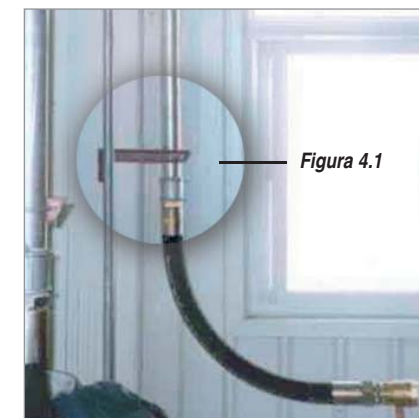


Figura 4: Conexión flexible de un compresor por medio de una manguera



## Consejo 5

## Instalación correcta de los compresores

Las condiciones de instalación y ambientales influyen notablemente en la eficiencia y confiabilidad de la producción de aire comprimido. Por ello es muy importante respetar tres reglas básicas. 1.

## 1. Mantener limpia la estación de compresores

La limpieza y el estado de mantenimiento de muchas estaciones dejan mucho que desear, aunque no lleguen al extremo de la figura Limpieza significa-



Figura 1: Estación de aire comprimido descuidada

ca, sobre todo, proteger los equipos del polvo. De lo contrario, los filtros de polvo se saturarán enseguida, ocasionando mayores necesidades de mantenimiento, un peor rendimiento y un perjuicio de la refrigeración por aire. Otras consecuencias pueden ser averías en el compresor por sobrecalentamiento, averías en el secador y una mayor formación de condensado, con el riesgo intrínseco de daños para las herramientas y deterioro en la calidad de los productos. Si no es posible evitar la sobrecarga de polvo al elegir el lugar de instalación, deberán instalarse paneles filtrantes para el aire de aspiración (figura 2a, 2b).

## 2. Temperaturas moderadas

En las épocas frías del año deberá protegerse la estación de aire comprimido contra las temperaturas bajo cero: En primer lugar, en la estación se produce el aire comprimido, que estará húmedo mientras es transportado al punto de tratamiento. Si se congela, el conden-



Figura 2a: Esterillas filtrantes (lado de aspiración)

sado presente en las tuberías puede provocar daños importantes. En segundo lugar, la capacidad lubricante de los aceites y las grasas de los rodamientos del compresor disminuye a temperaturas por debajo de los +5 °C, lo cual puede ser también origen de averías. En verano, por el contrario, deberá eliminarse eficazmente el calor derivado por los compresores para que la temperatura ambiente de la sala no supere la temperatura exterior. Si esto sucede, los motores y los componentes eléctricos pueden sobrecalentarse y los secadores se sobrecargarán debido a una refrigeración insuficiente del aire comprimido. Las consecuencias son la formación de condensado y averías en los consumidores. En el peor de los casos, la acumulación térmica provocada por una ventilación insuficiente llevaría a la parada de los compresores y los secadores, o lo que es lo mismo, a la



Figura 2b: Esterillas filtrantes (lado del compresor)

interrupción del suministro de aire comprimido.

Para evitarlo existen sistemas de refrigeración capaces de regular la temperatura en la estación de aire comprimido gracias al control automático y termostático de la entrada, salida y circulación del aire en la sala de compresores (figura 3).

## 3. Mantenimiento sencillo de la estación

Los compresores y aparatos de tratamiento modernos necesitan poco mantenimiento, pero tampoco pueden prescindir de él totalmente. Deben colocarse de manera que todos los puntos de mantenimiento queden accesibles. La economía y confiabilidad máxima en la producción de aire comprimido solamente se pueden alcanzar si se presta la atención debida a los tres criterios siguientes:



Figura 3: Estación de aire comprimido con circulación de aire controlada termostáticamente

## Consejo 6

## Ventilación de la sala de compresores (entrada de aire)

La ventilación de la estación de compresores puede contribuir notablemente a mejorar la disponibilidad del aire comprimido y a minimizar los costos de mantenimiento.

## 1. Ubicar correctamente las aberturas para entrada de aire

La buena ventilación de la estación de compresores depende de la buena localización de las aberturas de entrada y salida de aire. La influencia del clima en el aire que entra desde el exterior debe ser la mínima posible. Esto quiere decir, por ejemplo, que deberán posicionarse las entradas y salidas en la mitad inferior de un muro de la sala de compresores protegido de la radiación solar directa y de otros fenómenos climatológicos.

## 2. Protección contra suciedad y sustancias nocivas

Debe procurarse que la cantidad de polvo y sustancias nocivas que aspiren los compresores sea la mínima posible. Entre ellas se cuentan por ejemplo los gases de escape de los motores de explosión. Debe evitarse el paso de camiones por la zona de aspiración de la sala de compresores. Si no es posible evitar la presencia de polvo y suciedad en el aire que rodea la estación, deberán tomarse obligatoriamente medidas de protección. Si la suciedad es moderada, bastarán con filtros para el aire de refrigeración; en casos extremos deberán instalarse las llamadas "trampas para polvo".

## 3. Dimensionado y equipamiento correcto de las aberturas de entrada de aire

El tamaño de las aberturas de entrada de aire depende de la potencia de los compresores refrigerados por aire presentes en la estación. Por cada kilovatio instalado de potencia nominal deberán planificarse entre 0,02 y 0,03

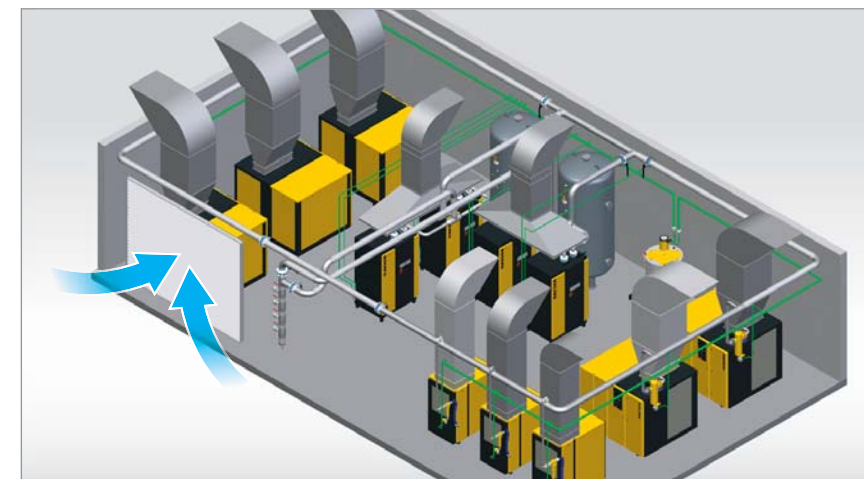


Figura 2: Estación de compresores con sistemas de entrada de aire

m<sup>2</sup> de sección libre en la abertura de entrada de aire. Esto corresponde a un volumen de aire de refrigeración desde 130 hasta 230 m<sup>3</sup>/h.

Debe prestarse atención al dato "sección libre". Las rejillas y persianas de protección y los filtros necesarios en caso de condiciones desfavorables de aspiración reducen esta sección de manera notable: dependiendo del sistema de refrigeración, la reducción puede ser de entre el 30 y el 60%. Lo mejor será elegir sistemas de ventilación que favorezcan el paso del aire.

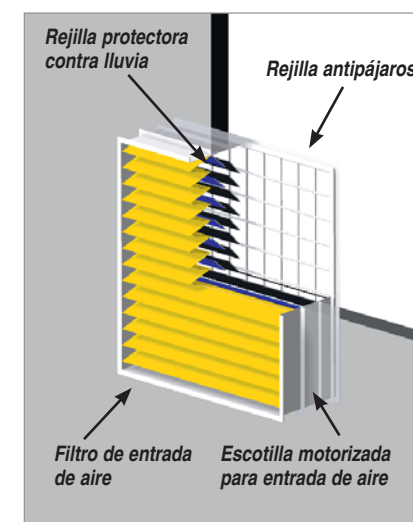


Figura 1: Sistema de entrada de aire (estructura)

En cualquier caso, deberá tenerse en cuenta y compensarse la reducción de sección causada por los dispositivos de protección y control.

Con frecuencia se encuentran sistemas de ventilación (figura 1) formados por rejillas antipájaros, rejillas de protección contra la lluvia, escotillas accionadas por motor y filtros del aire de entrada. En las estaciones con más de un compresor es aconsejable regular termostáticamente los sistemas de entrada de aire y dividir su abertura acorde a la ubicación y la potencia de los distintos equipos disponibles (figura 2).

## 4. Ventilación también para los compresores refrigerados por agua

Los compresores refrigerados por agua también llevan normalmente motores refrigerados por aire y generan calor, por lo que necesitan ventilación igual que los refrigerados por aire. Aproximadamente el 20 % de la potencia instalada en un compresor refrigerado por agua se convierte en calor derivado que debe transportarse al exterior de la sala de compresores. Por esa razón deberán preverse en este caso también las aberturas de ventilación con el dimensionado correspondiente.

## Consejo 7

**Ventilación de la sala de compresores (salida de aire)**

La ventilación adecuada en la estación de aire comprimido es necesaria para asegurar la disponibilidad del aire comprimido y reducir los costos de mantenimiento. Si la temperatura exterior cae por debajo de los +5 °C deberá templarse la sala con una circulación de aire.

**1. Transporte sencillo del aire al exterior**

Los canales de salida de aire de la estación de aire comprimido cumplen un objetivo importante: Transportan al exterior el aire de refrigeración caliente, y con él, el calor generado por los motores y los compresores (figura 1). En los compresores modernos el calor generado por distintas fuentes sale por una única salida (figura 1, lupa). Esta salida cuenta con un empalme de lona flexible que puede conectarse fácilmente al canal de salida (figura 2). Si la temperatura exterior es superior a +10 °C, todo el calor generado se transporta con el aire al exterior de la sala. En el caso de compresores viejos, deberán conectarse canales individuales a las salidas de cada uno de ellos.



Figura 2: Conexión de ventilación del compresor con empalme de lona

**2. Instalar el canal colector**

Si no es posible instalar canales de salida individuales, la solución será un canal colector (figura 3). Para conectar correctamente los compresores

serán necesarias rejillas de retención. Cerradas, evitan que el aire caliente retorne a la estación de compresores en las fases de parada del compresor correspondiente. Las rejillas motorizadas reducen la pérdida de presión y pueden controlarse con la señal "Motor en operación". Las chapas deflectoras en el canal colector evitan pérdidas de presión.

**3. Templar con circulación de aire**

Si las temperaturas exteriores son inferiores a +5 °C deberá haber un sistema de rejillas de circulación que se activen a partir de +10 °C y que se abran más o menos según la temperatura que haga (figura 1). En las estaciones que pasen mucho tiempo en parada total deberá instalarse un sistema de calefacción auxiliar que mantenga la temperatura de la sala por encima de +5 °C.

**4. Ventilación de los secadores refrigerativos**

Los secadores refrigerativos generan un calor que equivale aproximadamente a la potencia eléctrica que consumen multiplicada por cuatro. Por eso necesitan un sistema de ventilación propio con ventilador controlado termostáticamente (figuras 1 y 3). Si la estación cuenta con varios secadores refrigerativos, el ventilador deberá tener un control por escalones que se active a partir de +20 °C. Como este sistema de ventilación no funciona continuamente, el canal de salida no deberá apoyarse directamente sobre el secador.

**5. Diseñar y regular correctamente los sistemas de ventilación**

Todos los sistemas de ventilación deben diseñarse de modo que no provoquen más pérdidas de presión que la presión residual de la máquina de menor tamaño de la estación. De otro modo, el aire de salida de esta máquina podría retornar a la sala. Si

la presión residual no es suficiente habrá que instalar ventiladores auxiliares. Las trampillas deben regularse automáticamente por medio de termostatos instalados en la sala y en los compresores. Para poder reconocer de inmediato las disfunciones de las trampillas y transmitir la información a los sistemas de mando, se recomienda el uso de un controlador maestro como "SIGMA AIR MANAGER".

**6. Caso especial: refrigeración por agua**

Como los compresores refrigerados por agua convierten el 20 % de la potencia instalada en calor derivado, en su caso también será necesario planificar una ventilación acorde.

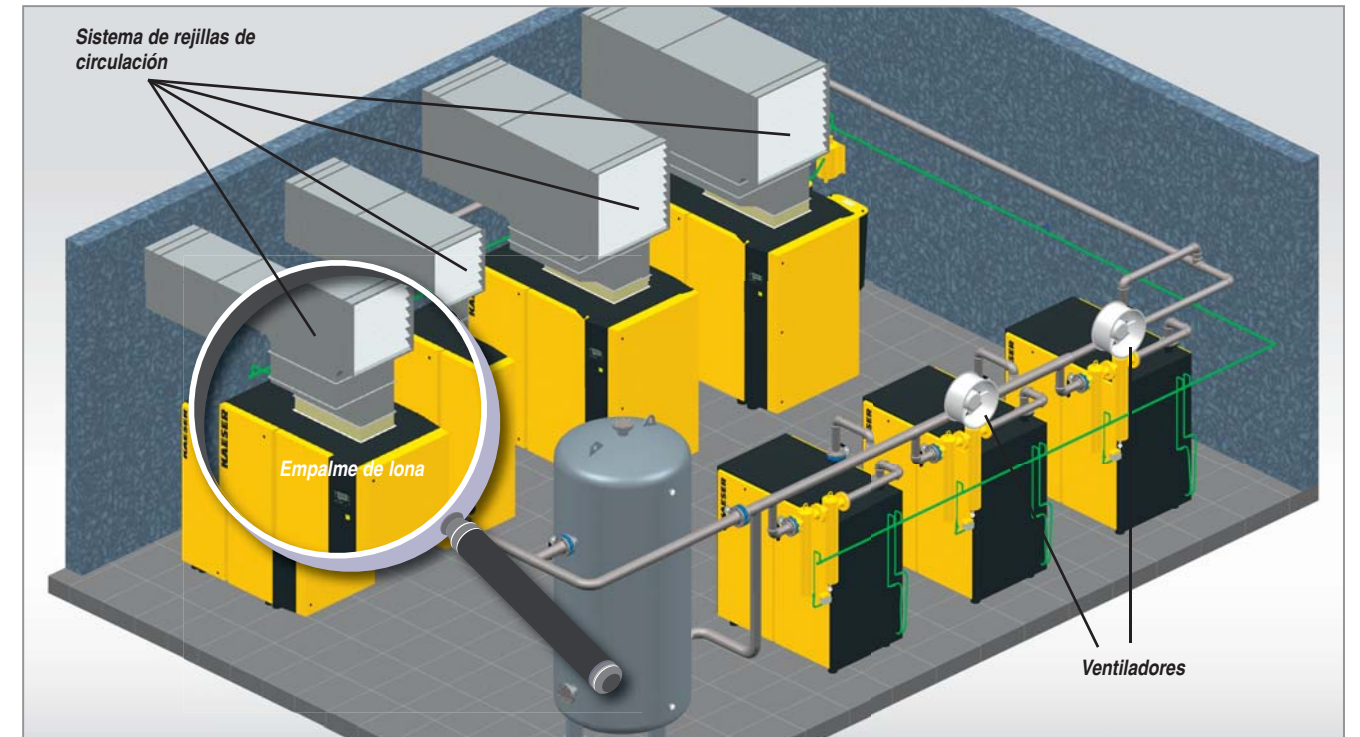


Figura 1: Sistema de ventilación con un canal individual por compresor

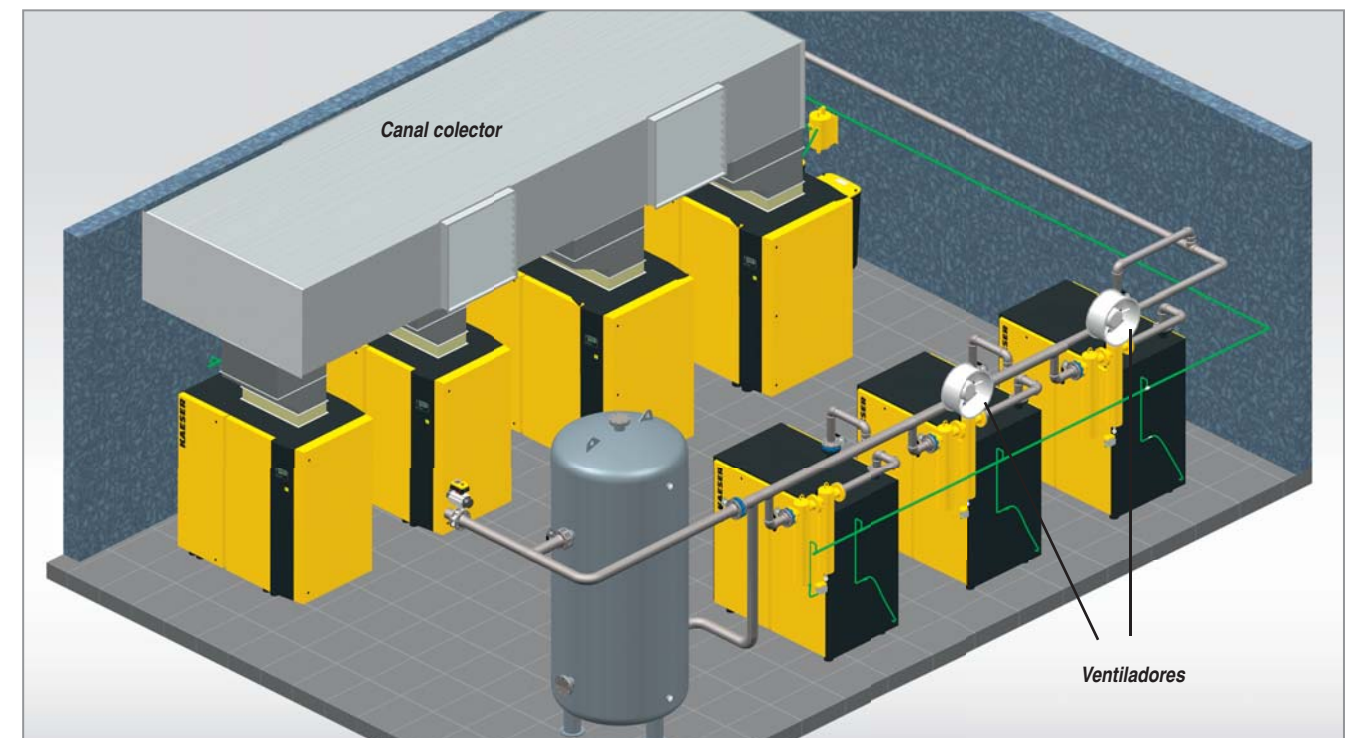


Figura 3: Sistema de ventilación con canal colector para todos los compresores

# Anexo

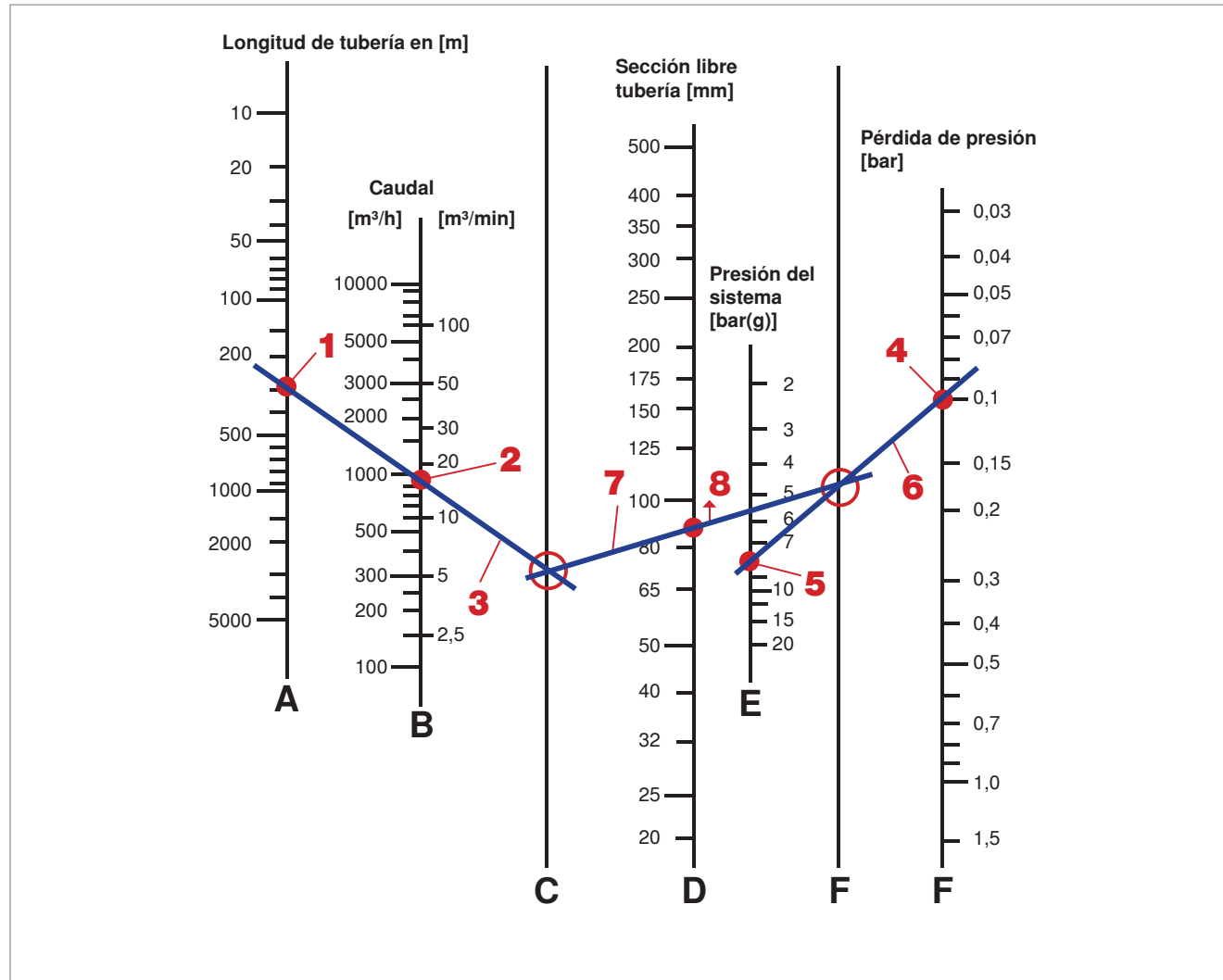
---

Anexo 1 - 2

**54-57**

Anexo 1

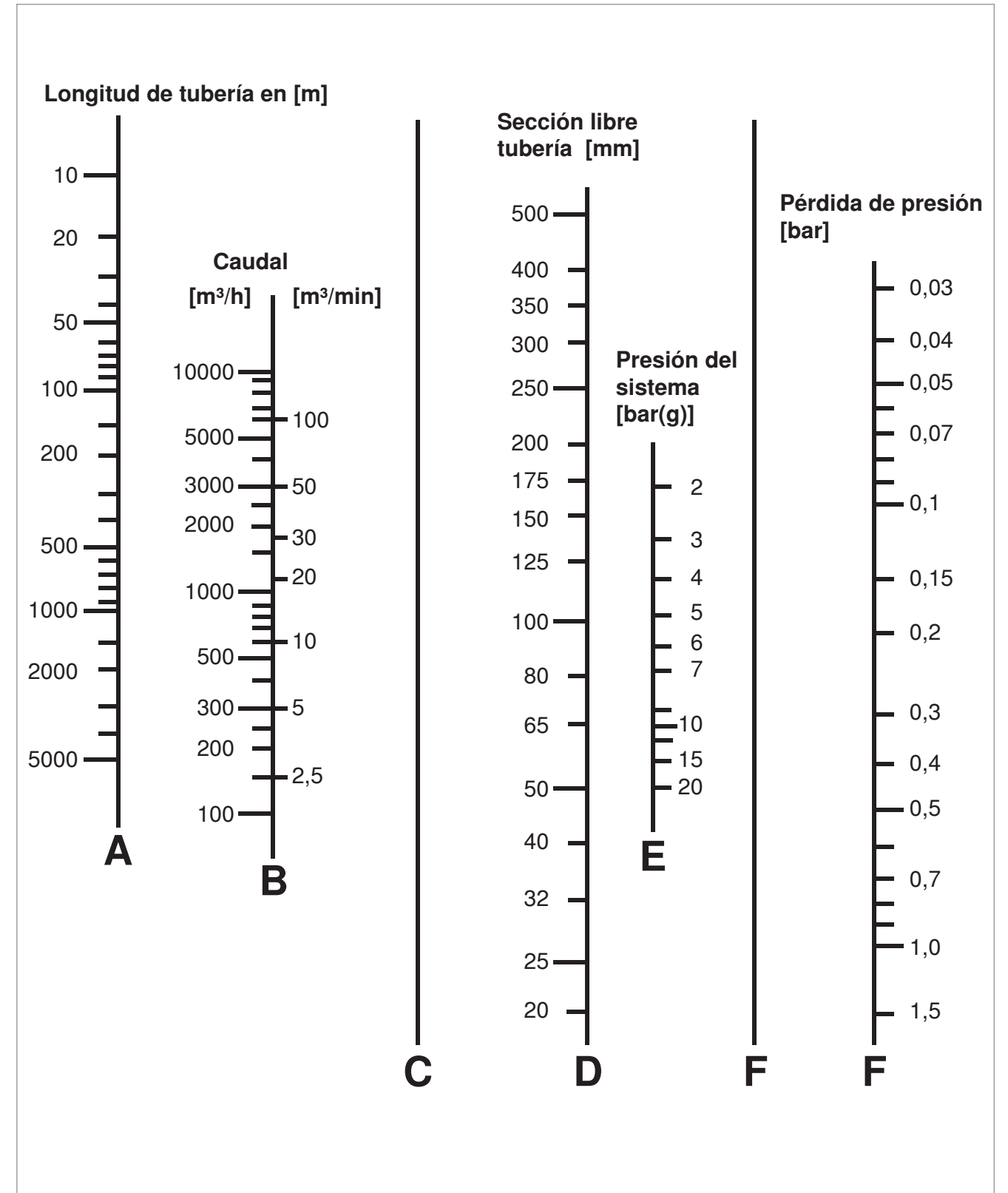
# Nomograma para calcular el diámetro interno exigido de las tuberías



El diámetro interno de las tuberías de aire comprimido puede calcularse con ayuda del nomograma del modo siguiente: primero, marque la longitud de las tuberías y el caudal en los ejes A y B. Unir ambos puntos con una línea recta,

cuya prolongación cortará el eje C en un punto. A continuación, marcar en los ejes E y G la presión mínima del sistema y la pérdida máxima de presión deseada. La línea recta entre esos dos puntos corta el eje F. La recta que une los puntos de corte de los ejes C y F

corta el eje D en el punto que indica el diámetro exigido para las tuberías.



# Ejemplos de cuestionarios para el Kaeser Energy Saving System

## Servicio de Sistema de Ahorro de Energía



### 1. ¿Qué clase de aire necesita que suministre los compresores?

#### 1.1 1.1 Herramientas y maquinaria utilizadas en el consumo de aire

Herramientas, máquinas	Consumo de aire por herramienta, máquina m³/min	Número de herramientas, máquinas	Carga/Tiempo de transmisión %	Factor de simultaneidad %	Consumo real de aire calculado m³/min
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=
	x	x	x	x	=

Consumo de aire de todas las herramientas =  $V_{Tools}$   m³/min

#### 1.2 Otros consumidores

$V_{Other}$   m³/min

#### 1.3 Fugas de la red de trabajo de aire

$V_{Leakage}$   m³/min

#### 1.4 Reserva

$V_{Reserve}$   m³/min

Suministro mínimo requerido de aire comprimido por los compresores =

$V_{Total}$   m³/min

## Servicio de Sistema de Ahorro de Energía



### 2. ¿Ya están los compresores en uso?

No

Si

Designación del operario	Marca	Modelo	Presión bar <sub>(g)</sub>	Suministro de aire m³/min	¿Planea usarlo continuamente?	
					Si	No
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				<input type="text"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Suministro total de aire de los compresores existentes que se seguirán utilizando

=  $V_{Existing}$   m³/min

### Componentes de tratamiento de aire comprimido existentes

Clase/modelo – secador, filtro, drenaje, etc.	Marca	Diseñado para m³/min	bar(g)	Observaciones ej. Tamaño incorrecto



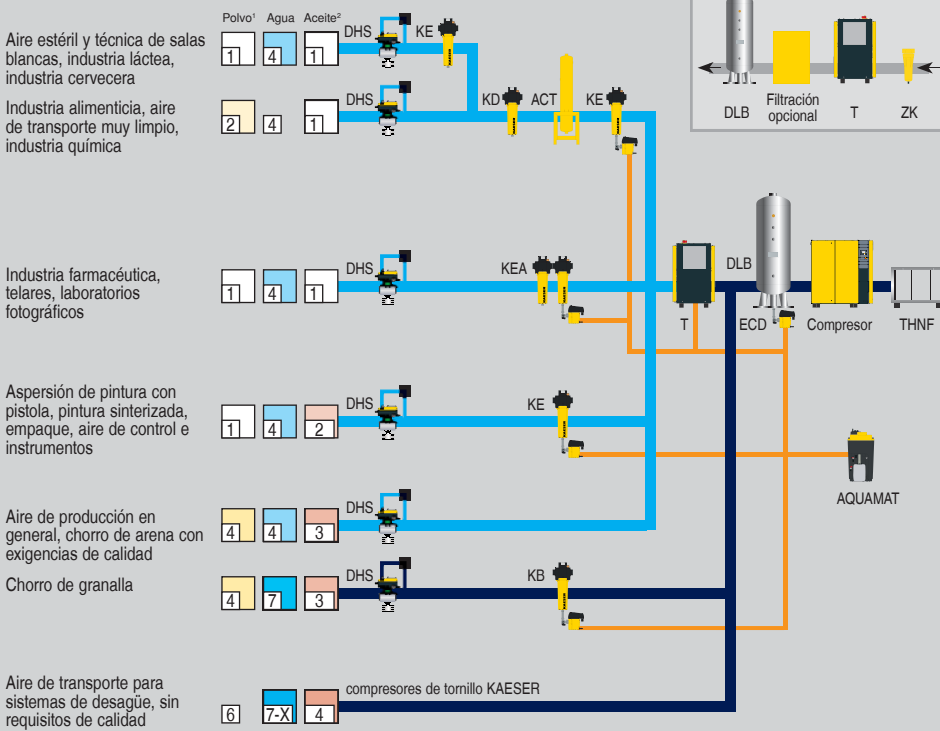
**CSD 105**

**SIGMA** 

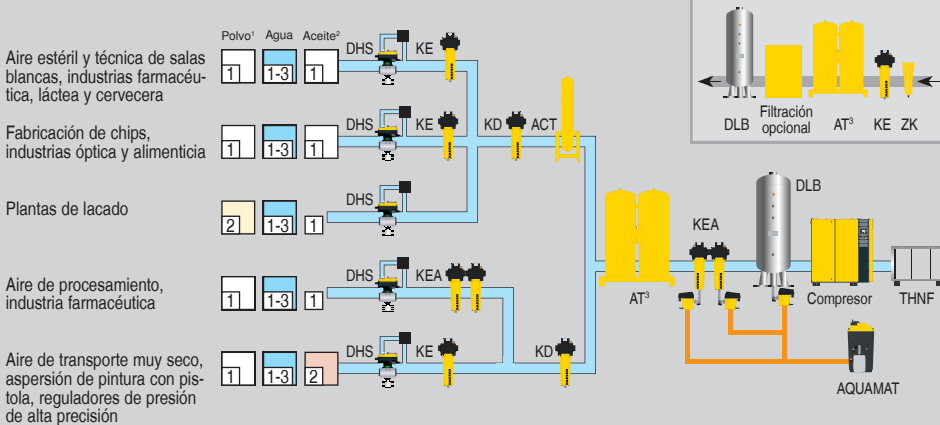
### Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades:

Ejemplos de uso: Grados de tratamiento según la ISO 8573-1 (2010)

#### Tratamiento del aire comprimido con secadores refrigerativos



#### Tratamiento de aire comprimido con secador desecante



<sup>1</sup> Clase de partículas que se logra con entubado y arranque inicial realizados por un profesional.  
<sup>2</sup> Contenido total de aceite que se logra con los aceites para compresores recomendados y aire de aspiración sin cargas.  
<sup>3</sup> A continuación de los secadores desecantes regenerados por calor, es preciso instalar filtros de alta temperatura y, si es necesario, un posenfriador.  
<sup>4</sup> Para aplicaciones críticas, que exijan una gran pureza del aire comprimido (por ejemplo, en los sectores de la electrónica y la óptica) es recomendable instalar una combinación extra de filtros KB y KE.

Explicaciones	
ACT	Torre de carbón activado
AQUAMAT	AQUAMAT
AT	Secador de adsorción
DHS	Sistema de mantenimiento de la presión
DLB	Tanque de almac. de aire comprimido
ECD	Drenaje electrónico ECO-DRAIN
KA	Filtro de carbón activado
KB	Filtro coalescente básico
KBE	Combinación de filtrado - Extra
KD	Filtro de partículas
KE	Filtro coalescente extra
KEA	Combinación de filtrado - Carbón extra
T	Secador refrigerativo
THNF	Prefiltro de alta polución
ZK	Separador centrífugo

Clases de calidad de aire comprim. según la norma ISO 8573-1(2010):

Partículas / polvo			
Clase	Nº máx. de partículas por m³ Tamaño de part. d en µm *		
	0,1 ≤ d ≤ 0,5	0,5 ≤ d ≤ 1,0	1,0 ≤ d ≤ 5,0
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER		
1	≤ 20.000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400.000	≤ 6.000	≤ 100
3	no definido	≤ 90.000	≤ 1.000
4	no definido	no definido	≤ 10.000
5	no definido	no definido	≤ 100.000
Clase	Concentración partículas C <sub>p</sub> en mg/m³ *		
6	0 < C <sub>p</sub> ≤ 5		
7	5 < C <sub>p</sub> ≤ 10		
X	C <sub>p</sub> > 10		

Agua	
Clase	Punto de rocío de presión, en °C
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Clase	Concentración agua líquida C <sub>w</sub> en g/m³ *
7	C <sub>w</sub> ≤ 0,5
8	0,5 < C <sub>w</sub> ≤ 5
9	5 < C <sub>w</sub> ≤ 10
X	C <sub>w</sub> > 10

Aceite	
Clase	Concentración de aceite total (líquido, aerosol + gas), en mg/m³ *
0	Disposiciones individuales, consulte con KAESER
1	≤ 0,01
2	≤ 0,1
3	≤ 1,0
4	≤ 5,0
X	≤ 5,0

\*) En condiciones de referencia 20 °C, 1 bar(abs), 0% humedad relativa.



## KAESER COMPRESORES DE ARGENTINA SRL

Ruta Panamericana – ramal Campana Km 37,500 – Centro Industrial Garín  
 Calle Haendel Lote 33 – (1619) Garín, Buenos Aires – República Argentina

Tel: +54 0 3327 41 4800 – Fax: +54 0 3327 41 4836 – E-mail: info.argentina@kaeser.com – www.kaeser.com