



Técnica de aire comprimido

Nociones básicas y consejos

Contenido

Nociones básicas

Capítulo 1	Conceptos básicos de la producción de aire comprimido	4
Capítulo 2	Tratamiento económico del aire comprimido	6
Capítulo 3	¿Por qué es necesario secar el aire comprimido?	10
Capítulo 4	Evacuación automática del condensado	12
Capítulo 5	Tratamiento económico y seguro del condensado	14
Capítulo 6	Regulación eficiente de los compresores	16
Capítulo 7	Coordinación óptima de los compresores para ahorrar energía	20
Capítulo 8	Ahorro de energía gracias a la recuperación del calor	22
Capítulo 9	Nueva planificación de una red de aire comprimido	24
Capítulo 10	Saneamiento de redes de aire comprimido	26
Capítulo 11	Análisis de la demanda de aire (ADA): cálculo de la situación real	28
Capítulo 12	Cálculo de la solución más económica	32
Capítulo 13	Refrigeración eficiente de la estación de aire comprimido	34
Capítulo 14	Cómo mantener a largo plazo la fiabilidad y la optimización de los costes	36

Consejos prácticos

Consejo 1	Presión óptima para ahorrar	42
Consejo 2	Presión correcta en la conexión de aire	44
Consejo 3	Distribución eficiente del aire comprimido	46
Consejo 4	Tuberías de la estación de aire comprimido	48
Consejo 5	Elección del lugar adecuado para los compresores	50
Consejo 6	Ventilación de las estaciones de aire comprimido	51
Consejo 7	Evacuación del aire de las estaciones de aire comprimido	52

Apéndice

Apéndice	Cuestionarios	56
	Notas	62

Introducción



Sr.
Thomas Kaeser



Sra.
Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser

Estimada lectora, estimado lector:

Ya lo dijo Sócrates, el famoso filósofo griego, hace más de dos mil años: «Solo hay un bien para el hombre: el conocimiento. Y solo hay un mal: la ignorancia».

Estas sabias palabras de uno de los padres intelectuales de Occidente están hoy más vigentes que nunca, puesto que nada parece ser más constante que el cambio. Las transformaciones, cada vez más profundas y rápidas, a las que dan pie los avances tecnológicos y la globalización económica exigen nuevas respuestas y soluciones estratégicas.

Ahora más que nunca, los retos a los que nos enfrentamos deben verse como oportunidades que hay que aprovechar para conseguir un mayor éxito en el futuro. El imparable avance de la conectividad y la creciente complejidad hacen que la materia prima más importante del futuro sea el conocimiento, cuyo crecimiento exponencial implica que solo pueden acceder a él quienes están verdaderamente comprometidos con la educación y la formación continua.

También en el campo de la técnica del aire comprimido hace mucho tiempo que no basta con saber cómo se fabrican, se instalan y se ponen en funcionamiento los compresores de alto rendimiento.

Para utilizar el aire comprimido conforme a los tiempos que corren, es decir, de la manera más eficiente posible, debe evaluarse el sistema de aire en su conjunto, además de comprender las distintas correlaciones e interacciones que se producen dentro de ese sistema y su integración en el entorno industrial.

Por eso, KAESER KOMPRESSOREN apuesta por formar a sus clientes de diversas maneras. Durante todo el año, KAESER envía a expertos cualificados y con amplia experiencia a congresos, conferencias y seminarios en los cinco continentes para que hablen sobre la producción y el uso eficientes del aire comprimido. A ello se suman las numerosas publicaciones especializadas en medios muy diversos.

En este folleto hemos resumido los profundos conocimientos de nuestros expertos. Además de una introducción razonada y de fácil lectura a la tecnología de aire comprimido, encontrará una serie de consejos prácticos para operadores de instalaciones y usuarios de aire comprimido que ponen de manifiesto que muchas veces basta con hacer pequeños cambios en el sistema para notar importantes mejoras en la eficiencia y la disponibilidad de esta fuente de energía.

Thomas Kaeser *Tina-Maria Vlantoussi-Kaeser*

Conceptos básicos de la producción de aire comprimido

Con el aire comprimido pasa igual que con tantas otras cosas: los detalles son muy importantes y las pequeñas cosas pueden tener consecuencias graves, tanto positivas como negativas. Y no todo es lo que parece a primera vista. Si se produce en condiciones desfavorables, el aire comprimido puede resultar caro, pero si se genera correctamente, puede ser muy económico. En este primer capítulo explicamos algunos conceptos relacionados con la técnica de aire comprimido y destacamos varios puntos que deben tenerse en cuenta.

1. Flujo volumétrico

El flujo volumétrico o caudal es la cantidad de aire a presión atmosférica que un compresor comprime y suministra a la red de aire comprimido. La norma **ISO 1217, anexo C** determina la medición correcta del flujo volumétrico, para la que se sigue el procedimiento que se muestra en la **imagen 1**. Primero se miden la temperatura, la presión atmosférica y la humedad del aire en la entrada de la unidad. A continuación, sin modificar las condiciones de funcionamiento, se miden la presión de servicio (que debe acercarse todo lo posible al valor máximo), la temperatura del aire comprimido y el volumen de aire a la salida del compresor. Por último, el volumen V_2 medido en la salida de aire comprimido se recalcula en las condiciones de aspiración con la ayuda de la ecuación de gas (**véase la fórmula**).

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

El resultado de este cálculo será el caudal del compresor. No debe confundirse con el flujo volumétrico o caudal del bloque compresor.

Atención:

La ISO 1217 solamente se refiere al caudal del bloque.

2. Potencia suministrada por el motor

Por tal se entiende la potencia que el motor de accionamiento del compresor transmite mecánicamente al árbol de accionamiento. La potencia óptima del motor es aquella con la que se consigue el mejor rendimiento eléctrico y se alcanza el factor de rendimiento

cos ϕ sin sobrecargar el motor en exceso. Ese valor óptimo se encuentra en el rango de la potencia nominal del motor y se denomina también potencia asignada. Puede consultarse en la placa identificativa del motor eléctrico. **¡Atención! Si la potencia suministrada por el motor difiere mucho de la potencia nominal, el compresor estará consumiendo demasiada energía o se verá sometido a un desgaste excesivo.**

3. Potencia eléctrica consumida

El consumo eléctrico es la potencia que el motor de accionamiento del compresor absorbe de la red con una carga mecánica concreta del árbol del motor (potencia suministrada por el motor). Es igual a la potencia suministrada por el motor más las pérdidas internas de este, como las pérdidas eléctricas y mecánicas que producen los cojinetes y la ventilación del motor. El consumo de potencia en el punto nominal puede calcularse con la fórmula siguiente:

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

Los valores U_n , I_n y $\cos \phi_n$ están indicados en la placa de identificación del motor eléctrico.

4. Potencia específica

Se entiende por potencia específica la relación entre la potencia eléctrica consumida y el caudal suministrado a una presión de servicio concreta (**imagen 2**). La potencia eléctrica que consume un compresor es la suma de las potencias consumidas por todos los accionamientos que incluye, como el motor principal, el motor del ventilador, el de las bombas de aceite, la calefacción auxiliar, etc.

Si se necesita la potencia específica para calcular la rentabilidad del compresor, debe tomarse como referencia la de toda la unidad a la presión máxima de servicio. Para ello debe dividirse el consumo total de electricidad a presión máxima entre el flujo volumétrico de la unidad a presión máxima:

$$P_{\text{espec}} = \frac{\text{Potencia eléctrica consumida}}{\text{Flujo volumétrico}}$$

5. IE: la nueva fórmula para ahorrar energía

En 1997 entró en vigor en EE. UU. la Ley de Política Energética (Energy Policy Act, EPACT), que clasificaba los motores asíncronos trifásicos en función de su eficiencia energética. Más tarde se creó una clasificación similar también en Europa. Desde 2010 se aplica a los motores eléctricos la norma IEC internacional. Las clasificaciones y los requisitos legales se tradujeron en una mejora considerable de la eficiencia energética de los motores eléctricos de clase Premium. Estos motores más eficientes ofrecen importantes ventajas:

a) Bajas temperaturas de servicio

Las pérdidas internas de rendimiento (fricción, calentamiento) pueden suponer hasta el 20 % del consumo de potencia en motores pequeños y entre el 4 y el 5 % en motores de más de 160 kW. Los motores IE3/IE4 se calientan mucho menos y, por lo tanto, presentan menos pérdidas (**imagen 3**). Si un motor convencional registra un calentamiento de aprox. 80 K con un nivel de carga normal y conserva una reserva térmica de 20 K en compa-

ración con la clase de aislamiento F, un motor IE3 solo se calienta en las mismas condiciones hasta unos 65 K, manteniendo una reserva de 40 K.

b) Mayor duración

La reducción de la temperatura de servicio supone una menor carga térmica del motor, de los cojinetes y de la caja de bornes, lo que prolonga su vida útil. Eso también es una ventaja.

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

Menos pérdidas de calor significan también una mayor rentabilidad. KAESER ha ajustado los compresores perfectamente a la mayor eficiencia de los motores, con lo que ha conseguido incrementar los flujos volumétricos en un 6 % y las potencias específicas hasta en un 5 %. Esto se traduce en una mejora del rendimiento, periodos de marcha de los compresores más cortos y un menor consumo de energía por metro cúbico de aire comprimido producido.



Imagen 1: Medición del flujo volumétrico según ISO 1217, anexo C.

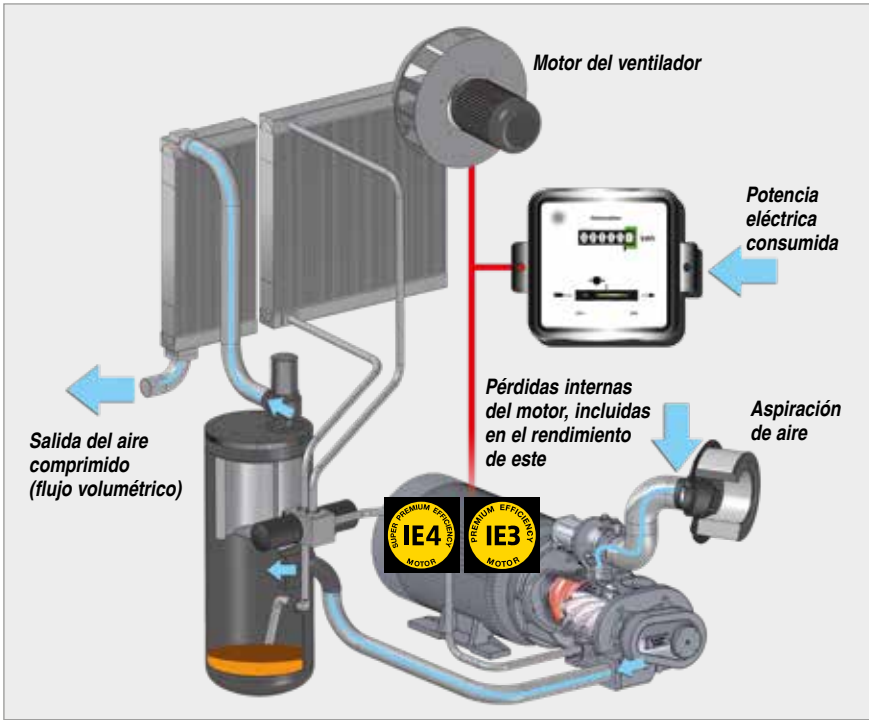


Imagen 2: Estructura general de un compresor de tornillo, cálculo de la potencia específica.

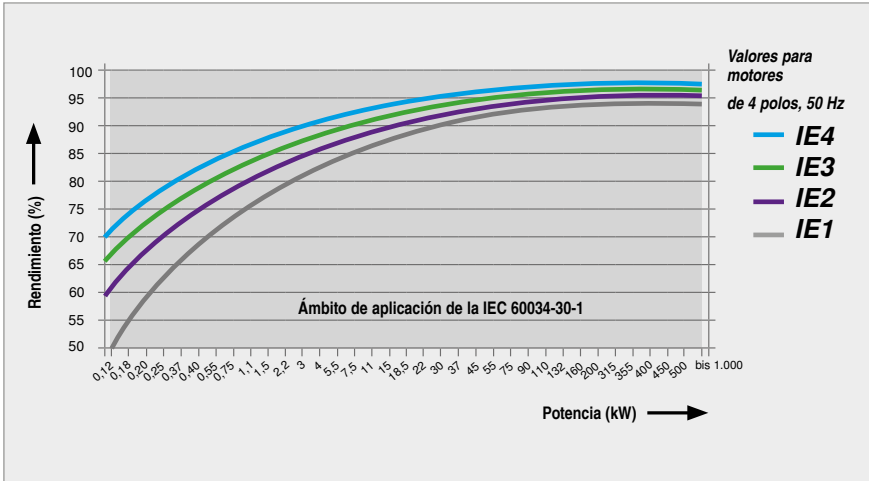


Imagen 3: La norma IEC: clasificación de eficiencia para motores eléctricos. Desde julio de 2021, los motores trifásicos de entre 0,75 y 1000 kW con un tiempo de conexión relativo superior al 80 % deben cumplir en la UE la clase de eficiencia energética IE3, mientras que a partir de julio de 2023 deberán corresponder a la clase de eficiencia energética IE4 los motores de entre 75 y 200 kW. Aún no se han definido los detalles de la siguiente clase de eficiencia, la IE5, que se prevé que quede recogida en la futura revisión de la norma.

Tratamiento económico del aire comprimido

¿Cuál es el mejor sistema de compresores para producir aire comprimido libre de aceite? Hoy en día, con independencia de lo que afirmen los distintos fabricantes, la respuesta a esa pregunta está clara: es posible conseguir aire comprimido de primera calidad tanto con compresores sin aceite (de tornillo seco) como con unidades refrigeradas por aceite o por fluido. Así pues, el factor clave a la hora de elegir el sistema es la rentabilidad.

1. ¿Qué significa «aire comprimido libre de aceite»?

De acuerdo con la norma ISO 8573-1, se considera aire comprimido libre de aceite aquel con un contenido de aceite (incluyendo el vapor de aceite) inferior a 0,01 mg/m³. Estamos hablando de cuatro centésimas partes del contenido normal en el aire de la atmósfera, una cantidad tan ínfima que apenas se puede medir. Pero ¿qué pasa con la calidad del aire de aspiración del compresor?

Depende en gran medida 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, solo el contenido de aceite mineral ya puede superar con mucho los 10 mg/m³,

a lo que se suman otros elementos contaminantes, como hidrocarburos, dióxido de azufre, hollín, metales y polvo.

2. ¿Por qué tratar el aire comprimido?

Todos los compresores funcionan como una gran aspiradora: aspiran

impurezas que luego comprimen junto al aire y que acaban en la red de aire comprimido si no se lleva a cabo el tratamiento correspondiente.

a) Compresores «sin aceite»

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

b) Compresores refrigerados por fluido o por aceite

En estas máquinas, en cambio, las sustancias agresivas son neutralizadas por el aceite refrigerante, que arrastra además las partículas sólidas contenidas en el aire comprimido.

3. El tratamiento: imprescindible para un aire comprimido de calidad

A pesar de que con este sistema se produce un aire comprimido de mayor pureza, tampoco se puede prescindir del tratamiento en este caso. Solo con el proceso de compresión, tanto si se utiliza aceite refrigerante como si no, es imposible lograr un aire comprimido libre de aceite conforme a la norma

ISO 8573-1 en condiciones normales de aspiración y con las impurezas que suele contener el aire. El grado de rentabilidad de la producción de aire comprimido depende del rango de presión y del flujo volumétrico, que a su vez determinan el tipo de compresor necesario. El primer paso de cualquier tratamiento del aire comprimido es secarlo bien. El secado con un secador frigorífico de bajo consumo es casi siempre el sistema más económico (véase también el capítulo 3, pág. 10).

4. Tratamiento con el sistema de aire puro KAESER

Los compresores de tornillo modernos refrigerados por fluido o aceite ofrecen hasta un 10 % más de rendimiento que los compresores sin aceite. El sistema de aire puro que KAESER ha desarrollado para ambos tipos de compresores permite un ahorro adicional de costes de hasta el 30 %

y hace que sea posible alcanzar un contenido residual de aceite de menos de 0,003 mg/m³, un valor muy por debajo del límite exigido por la norma ISO para la clase de calidad 1. Este sistema incluye todos los componentes de tratamiento necesarios para conseguir la calidad exigida para el aire comprimido. Dependiendo de la aplicación, se utilizan secadores frigoríficos o de adsorción (véase también el capítulo 3, pág. 11) y diferentes combinaciones de filtros. Gracias a este tratamiento, es posible producir de manera segura y económica un aire comprimido seco, libre de partículas e incluso técnicamente libre de aceite y estéril conforme a la norma ISO y sus clases de calidad de aire comprimido (véase el diagrama de las dos páginas siguientes).

Imagen 1: Secador frigorífico en una estación de aire comprimido.



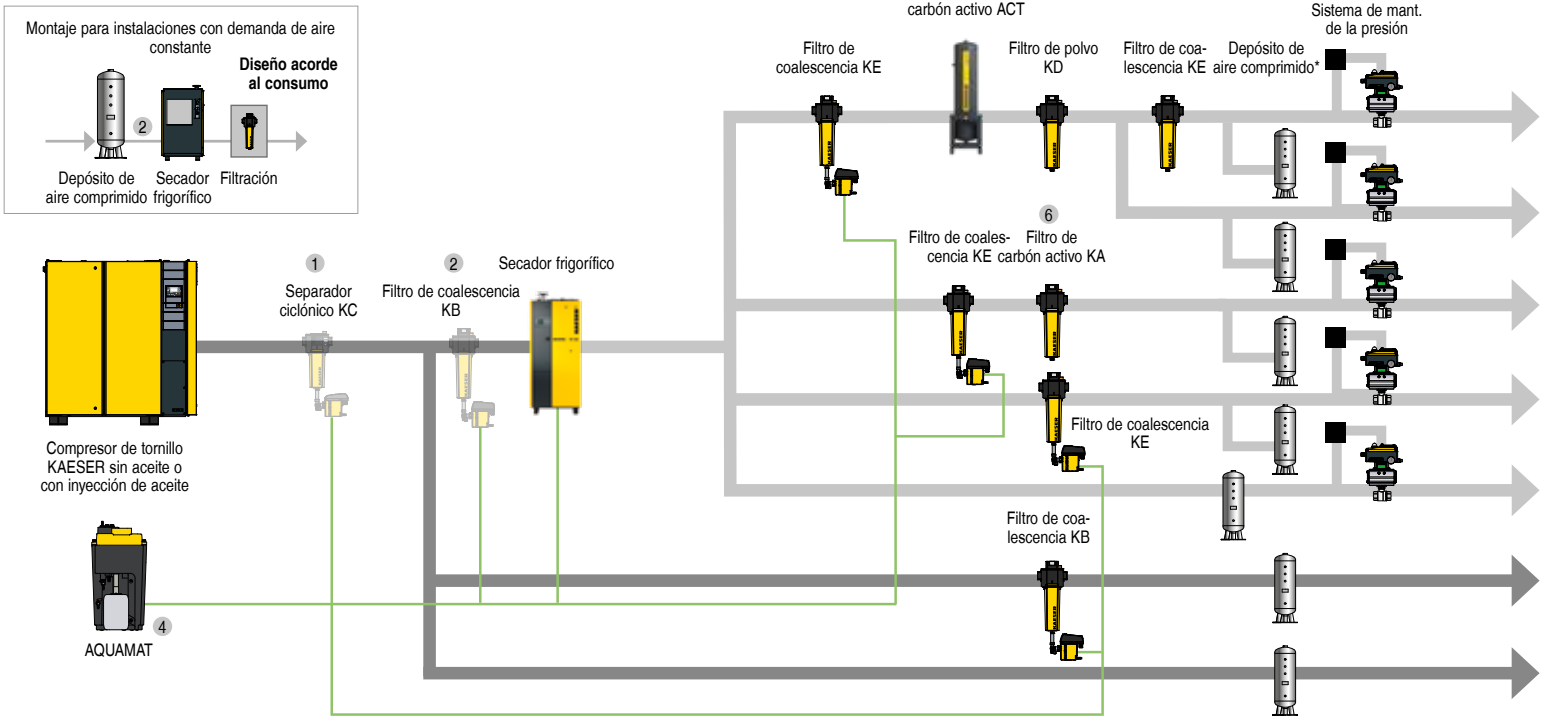
Imagen 2: Ejemplo de instalación de un sistema de tratamiento del aire comprimido con secador frigorífico, filtro de coalescencia, filtro de carbón activo y sistema de mantenimiento de la presión.



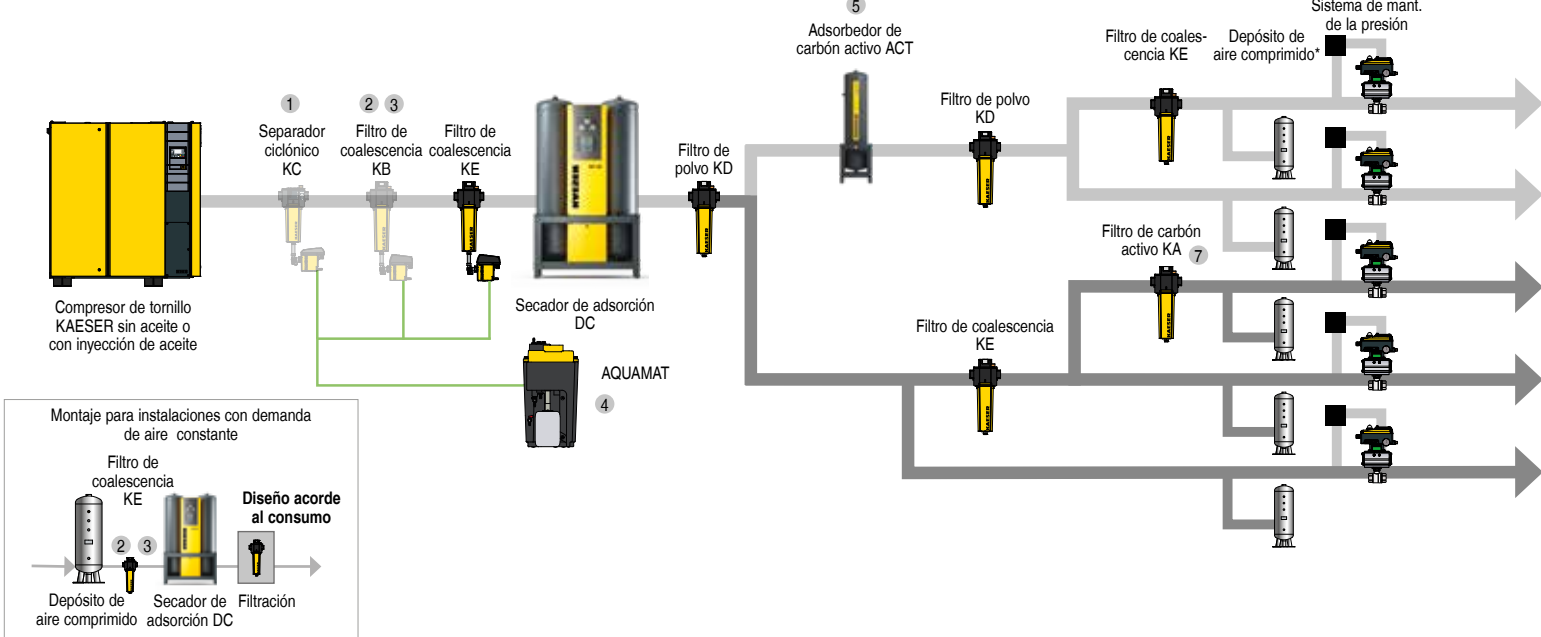
Tratamiento económico del aire comprimido

En el diagrama puede verse fácilmente la combinación adecuada de equipos para cada aplicación. Elija el grado de tratamiento que se ajuste a sus necesidades. Ejemplos de uso: Selección de clases de pureza acorde a la ISO 8573-1 (2010)

Tratamiento del aire comprimido con secador frigorífico (punto de rocío hasta +3 °C)



Tratamiento del aire comprimido con secador de adsorción (punto de rocío hasta -70 °C, por ejemplo, para aplicaciones con peligro de congelación)



- 1 Si el compresor lleva un separador ciclónico integrado, no será necesario el KC.
- 2 Si hay compresores de otras marcas, tuberías con un alto grado de suciedad o mucha corrosión, se preconecta un filtro KB.
- 3 En aplicaciones críticas en las que se exige una alta pureza del aire comprimido se preconecta un filtro KB.
- 4 La eliminación del condensado de los compresores de tornillo sin aceite corre a cargo del usuario.

- 5 Duración aprox. 12 000 h
- 6 Duración aprox. 500 h
- 7 Duración aprox. 1000 h

Clases de pureza de aire comprimido posibles

Partículas	Agua	Aceite
1	4	1
2	4	1
1	4	1
1	4	2
4	4	3
4	7-X	3
4-6	7-X	3-4

Rama/aplicación

Técnica de salas blancas, centrales lecheras, fábricas de cerveza, industria de la alimentación

Aire de transporte muy limpio, industria química

Telares, laboratorios fotográficos, industria farmacéutica

Pintura a pistola, recubrimiento con polvo sinterizado, embalado, aire de control e instrumentos

Aire de producción en general, chorreado de arena con exigencias de calidad

Chorros de granalla

Aire de transporte para sistemas de desagüe

Clases de pureza de aire comprimido posibles

Partículas	Agua	Aceite
1	1-3	1
2	1-3	1
1	1-3	1
1	1-3	2
2	1-3	2

Rama/aplicación

Técnica de salas blancas, industria farmacéutica y de la alimentación

Plantas de lacado

Aire de procesamiento, industria farmacéutica

Laboratorios fotográficos

Aire de transporte muy seco, pintura a pistola, reguladores de presión de precisión

Clases de pureza del aire comprimido acorde a la ISO 8573-1 (2010):

Partículas			
Clase	Número máx. de partículas por m³ de un tamaño de partícula d en µm *)		
	0,1 < d ≤ 0,5	0,5 < d ≤ 1,0	1,0 < d ≤ 5,0
0	Por ejemplo, posible para aire extrapuro y salas blancas; consulte a KAESER		
1	≤ 20 000	≤ 400	≤ 10
2	≤ 400 000	≤ 6000	≤ 100
3	No definido	≤ 90 000	≤ 1000
4	No definido	No definido	≤ 10 000
5	No definido	No definido	≤ 100 000
Clase	Concentración de partículas C _p en mg/m³ *)		
6	0 < C _p ≤ 5		
7	5 < C _p ≤ 10		
X	C _p > 10		

Agua

Clase	Punto de rocío, en °C
0	Por ejemplo, posible para aire extrapuro y salas blancas; consulte a KAESER
1	≤ -70 °C
2	≤ -40 °C
3	≤ -20 °C
4	≤ +3 °C
5	≤ +7 °C
6	≤ +10 °C
Clase	Concentración de agua líquida C _w en g/m³ *)
7	C _w ≤ 0,5
8	0,5 < C _w ≤ 5
9	5 < C _w ≤ 10
X	C _w > 10

Aceite

Clase	Concentración de aceite total (líquido, aerosol + gas) [mg/m³] *)
0	Por ejemplo, posible para aire extrapuro y salas blancas; consulte a 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 % de humedad relativa.

*) Si el aire comprimido debe cumplir unos estrictos requisitos de calidad, el depósito de aire comprimido debe instalarse siempre en una derivación a continuación del sistema de tratamiento para evitar el arrastre de sedimentos.

¿Por qué es necesario secar el aire comprimido?

Los problemas están en el aire, nunca mejor dicho: cuando el aire se enfría, como sucede después de la compresión, el vapor de agua se condensa. Por ejemplo, un compresor con un flujo volumétrico de 5 m³/min produce unos 30 litros de agua en cada turno de ocho horas cuando se dan estas condiciones: temperatura ambiental de +20 °C, 70 % de humedad relativa y 1 bar de presión absoluta. Este condensado debe eliminarse del sistema para prevenir averías y daños. Por eso, someter el aire comprimido a un secado económico y respetuoso con el medioambiente es una parte fundamental del proceso de tratamiento.

1. Un ejemplo práctico

Si un compresor de tornillo refrigerado por fluido aspira cada minuto 10 m³ de aire directamente de la atmósfera a 20 °C y con una humedad relativa del 60 %, ese aire contendrá unos 100 g de vapor de agua. Si el aire se comprime con una relación de 1:10 hasta 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 puede llegar a los 290 g por metro cúbico. Sin embargo, como tan solo contiene unos 100 g, el aire tiene una humedad relativa aproximada del 35 %, por lo que está bastante seco y no se formará condensado. El refrigerador final del compresor reduce la temperatura del aire comprimido de 80 a 30 °C aproximadamente. A esa temperatura, un metro cúbico de aire no puede retener más de 30 g de agua, por lo que los 70 g restantes se condensan y se separan. En una jornada de trabajo de 8 horas se pueden formar unos 35 litros de condensado, a los que se suman los 11,5 litros que produce cada día el secador frigorífico

acoplado. Este se encarga de enfriar primero el aire comprimido hasta una temperatura de +3 °C antes de que vuelva a la temperatura ambiente. Con ello se consigue un déficit de humedad de un 20 % aprox., lo que se traduce en un aire comprimido relativamente seco y de mejor calidad (imagen 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 que hay en cada momento. Por ejemplo, el aire saturado de vapor de agua al 100 % a una temperatura de +25 °C contiene casi 23 g 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 el bloque compresor y en el refrigerador final de un compresor tras la compresión.

4. Algunos conceptos básicos:

a) Humedad absoluta del aire

Entendemos por humedad absoluta la cantidad de vapor de agua contenida en el aire expresada en g/m³.

b) Humedad relativa (H_{rel})

La humedad relativa indica el grado de saturación del aire, es decir, la relación entre el vapor de agua realmente contenido en el aire y el punto de saturación correspondiente (100 % H_{rel}). Este valor depende de la temperatura: cuanto más caliente esté el aire, más vapor de agua podrá retener.

c) Punto de rocío atmosférico

El punto de rocío atmosférico es la temperatura a la cual el aire alcanza un grado de saturación del 100 % (H_{rel}) a presión atmosférica (condiciones ambientales).

d) Punto de rocío de presión

Por punto de rocío de presión entendemos la temperatura a la que el aire comprimido alcanza su punto de saturación (100 % H_{rel}) a presión absoluta. Volvamos al ejemplo descrito en el punto 1: a una presión de 10 bar(abs)



Imagen 1: Durante la producción, el almacenamiento y el tratamiento del aire comprimido se forma condensado (datos referidos a 10 m³/min, 10 bar[abs], 8 h, 60 % H_{rel} y 20 °C).

y con un punto de rocío de presión de +3 °C, el aire tiene una humedad absoluta de 6 g por metro cúbico de servicio. Si relajamos uno de los metros cúbicos de servicio del ejemplo, que están comprimidos a 10 bar(abs), hasta alcanzar la presión atmosférica, su volumen se multiplicará por diez. Los 6 g de vapor de agua no varían, pero se reparten en ese volumen mayor. Cada metro cúbico relajado contendría, por tanto, 0,6 g de agua, lo que equivale a un punto de rocío atmosférico de -24 °C.

5. Secado económico y ecológico del aire comprimido:

¿Secador frigorífico o de adsorción?

La nueva normativa medioambiental referida a los agentes refrigerantes no cambia el hecho de que los secadores de adsorción no sean una alternativa real a los secadores frigoríficos, ni desde el punto de vista económico ni desde el ecológico. Los secadores frigoríficos solamente consumen un 3 % de la energía que necesita el compresor para producir el aire comprimido, mientras que los secadores de adsorción consumen un 10-25 % o incluso más. Por eso, será preferible optar por un secador frigorífico siempre que sea posible.

Procedimiento de secado	Punto de rocío °C	Consumo de pot. típico específico kW / (m³/min) **)
Secador frigorífico	±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

Imagen 2: Existen diferentes procedimientos de secado en función del punto de rocío de presión requerido.

*) PRP -40 °C durante un tercio del tiempo de servicio.
**) Con ISO 7153, opción A.

Solo es recomendable el uso de secadores de adsorción cuando se necesita un aire comprimido extraordinariamente seco, con puntos de rocío de hasta -20, -40 o -70 °C (imagen 2). Durante la jornada, los sistemas de aire comprimido suelen experimentar fuertes variaciones de consumo que al cabo del año se notan aún más, porque además van acompañadas de cambios bruscos de

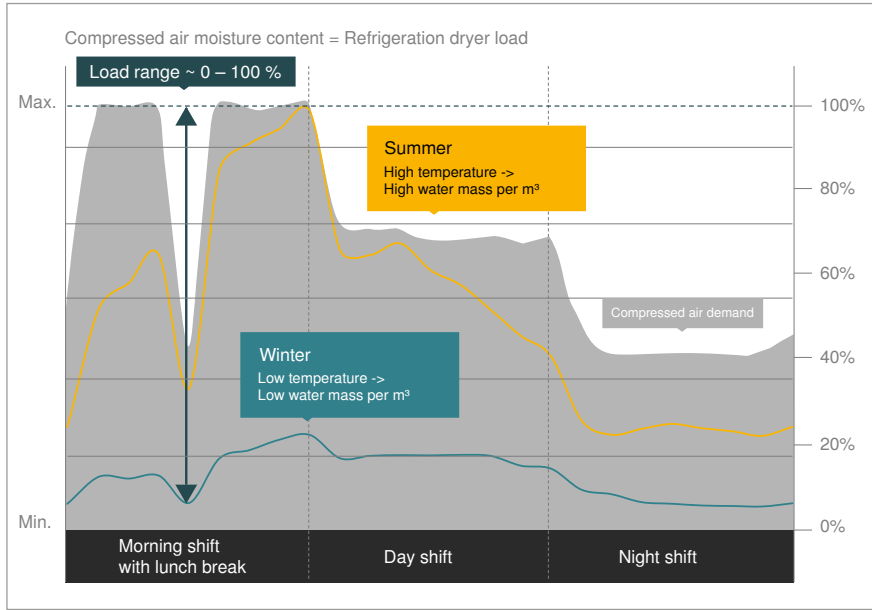


Imagen 3: Potencial de ahorro energético de los secadores frigoríficos con regulación por parada diferida.

temperatura. Por eso, los secadores de aire comprimido se diseñan pensando en las peores condiciones posibles: presión mínima, máximo consumo de aire comprimido y temperatura muy alta, tanto ambiental como de entrada del aire comprimido. Antes, el problema se solucionaba dejando el secador siempre en marcha, lo que suponía un derroche de energía sobre todo en carga parcial. En cambio, los secadores frigoríficos modernos, que cuentan con una eficiente regulación por parada diferida, adaptan el consumo de energía a las condiciones de cada momento sin que eso afecte a la calidad del aire comprimido (imagen 3), lo que se traduce en un ahorro energético de más del 50 % de media al año. Utilizar una tecnología eficiente desde el punto de vista energético es especial-

mente importante para alcanzar puntos de rocío de presión negativos, puesto que los secadores de adsorción que se emplean para esta tarea consumen mucha energía. Gracias al sistema mixto HYBRITEC, que garantiza la eficiencia energética sin que se disparen los costes, se ha conseguido reducir significativamente el consumo de energía. El sistema consta de un secador frigorífico y un secador de adsorción. Primero, el secador frigorífico enfría el aire comprimido entrante hasta un punto de rocío de +3 °C con el mínimo consumo de energía. Una vez que está medio seco, el aire pasa al secador de adsorción, que de esta manera necesita mucha menos energía para eliminar la humedad restante del aire y enfriarlo hasta un punto de rocío de -40 °C (imagen 4).



Imagen 4: Sistema Hybritec.

Evacuación automática del condensado

Al producir aire comprimido, es inevitable que se forme condensado. Recordemos que, en condiciones normales de servicio, un compresor de 30 kW con un flujo volumétrico de 5 m³/min ya produce unos 20 litros de condensado por turno, que debe eliminarse del sistema para evitar averías y daños por corrosión. En este capítulo explicamos cómo evacuar correctamente el condensado sin que se disparen los costes.

1. Evacuación del condensado

En todos los sistemas de aire comprimido se forma condensado en puntos concretos con diferentes sustancias contaminantes (**imagen 1**). Por esta razón, es imprescindible contar con un sistema fiable de evacuación del condensado. Su buen o mal funcionamiento afecta de lleno a la calidad del aire comprimido, a la seguridad de servicio y a la rentabilidad de toda la instalación.

a) Puntos de colección y evacuación del condensado

Los elementos mecánicos del sistema de aire comprimido son los primeros en acumular y evacuar el condensado. Gracias a estos elementos se elimina ya un 70-80 % del condensado total, siempre que los compresores cuenten con un buen sistema de refrigeración final.

Separador ciclónico:

Se trata de un separador mecánico que elimina el condensado del aire sirviéndose de la fuerza centrífuga (**imagen 2a**).

Para garantizar un funcionamiento óptimo, conviene que cada compresor tenga siempre su propio separador centrífugo. En las instalaciones más grandes, el compresor suele llevar incorporado un sistema de separación (**imagen 2b**), aunque en este caso el índice de separación varía mucho en función del diseño de cada solución técnica.

Refrigerador intermedio:

En los compresores de dos etapas también se recoge condensado en los separadores de los refrigeradores intermedios.

Depósito de aire comprimido:

Además de para almacenar el aire comprimido, que es su función principal, el



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

depósito sirve para separar el condensado del aire por acción de la gravedad (**imagen 1**) cuando se instala en la zona «húmeda» de la tubería. Si tiene las dimensiones adecuadas (caudal del compresor/min : 3 = tamaño mínimo del depósito en m³), es tan eficaz como un separador ciclónico.



Imagen 2a: Separador ciclónico con purgador de condensado.



Imagen 2b: Separador ciclónico integrado con purgador de condensado.

Sin embargo, a diferencia de este, puede instalarse en la conducción principal del sistema de aire comprimido, siempre que la entrada de aire se encuentre en la parte inferior y la salida en la superior. Además, gracias a su amplia superficie de disipación del calor, el depósito enfría aún más el aire comprimido, lo que favorece la separación del condensado.

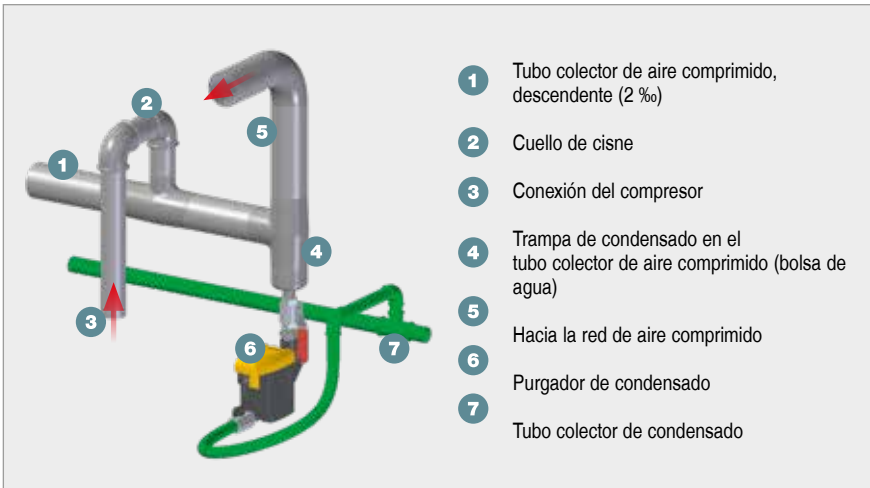


Imagen 3: Bolsa de agua con purgador de condensado en el sector húmedo de un sistema de aire comprimido.

Bolsa de agua en la conducción de aire comprimido:

Para evitar el flujo incontrolado del condensado, todos los puntos de entrada y salida del sector húmedo de la conducción de aire comprimido deben conectarse desde arriba o lateralmente. Las salidas controladas de condensado hacia abajo, las llamadas bolsas de agua, permiten evacuar el condensado de la red principal. Cuando el flujo de aire tiene una velocidad de entre 2 y 3 m/s y el sistema está correctamente diseñado, las bolsas de agua (**imagen 3**) son tan eficaces para separar el condensado como el depósito de aire comprimido (**imagen 1**).

b) Secador de aire comprimido

Además de los mencionados hasta ahora, también existen varios puntos de colección y evacuación del condensado en el sector de secado del aire comprimido.

Secador frigorífico:

Al enfriar y secar el aire comprimido, se forma más condensado en el secador frigorífico.

Secador de adsorción:

El enfriamiento que se produce en la conducción de aire comprimido hace que se forme condensado incluso en el prefiltro del secador de adsorción. En el propio secador solo hay agua en forma de vapor debido a las condiciones de presión parcial.

c) Evacuación descentralizada

Si el sistema no cuenta con un meca-

nismo de secado centralizado del aire, el condensado se precipita en grandes cantidades en los purgadores instalados poco antes de los puntos de consumo, lo que requiere mucho mantenimiento.

2. Sistemas de evacuación

Actualmente se utilizan sobre todo tres sistemas:

a) Purgador de flotador

Los purgadores de flotador son quizá el sistema de evacuación más veterano y se crearon para sustituir a la evacuación manual, poco económica y segura. Sin embargo, este sistema (**imagen 4**) también requiere mucho mantenimiento y tiende a fallar debido a las impurezas contenidas en el aire comprimido.

b) Válvula solenoide

Las válvulas solenoides con temporizador son un sistema más seguro que los purgadores de flotador, pero deben revisarse periódicamente para comprobar si están sucias. Además, si los tiempos de apertura de la válvula están mal ajustados, se producen pérdidas de aire comprimido, lo que incrementa el consumo energético.

c) Purgador de condensado con control de nivel

En la actualidad se utilizan principalmente purgadores con control inteligente del nivel (**imagen 5**). Estos tienen la ventaja de contar con un sensor de nivel electrónico que permite prescindir de la función de flotador, tan

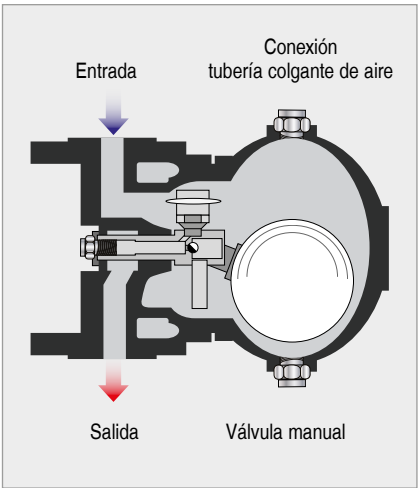


Imagen 4: Purgador de flotador para evacuar el condensado del aire comprimido.



Imagen 5: Purgador de condensado con control electrónico de nivel (tipo ECO-DRAIN).

propensa a fallos. De esta manera, se evitan las averías causadas por la suciedad o el desgaste mecánico. Además, se evitan las pérdidas de aire comprimido gracias al cálculo exacto y al ajuste preciso de los tiempos de apertura de las válvulas. La autovigilancia automática y la posibilidad de transmitir señales a un sistema de control superior o a una central de mando son otras dos ventajas de este sistema.

d) Instalación correcta

Debe instalarse siempre una conducción corta con llave de bola entre el separador y el purgador de condensado (**imágenes 2a, 2b y 3**). La llave permite cerrar el paso del condensado cuando se llevan a cabo trabajos de mantenimiento en el purgador sin impedir que la estación de aire comprimido siga funcionando con normalidad.

Tratamiento económico y seguro del condensado

El condensado que inevitablemente se forma al producir aire comprimido no contiene solo vapor de agua condensado, ni mucho menos. Los compresores funcionan como una aspiradora gigante: al aspirar el aire de la atmósfera, aspiran también sus impurezas, que pasan al condensado de manera concentrada a través del aire comprimido aún sin tratar.

1. ¿Por qué es necesario tratar el condensado?

Los usuarios de aire comprimido que se limitan a verter el condensado sin tratar a la canalización se arriesgan a pagar multas elevadas, puesto que el condensado resultante de comprimir aire es una mezcla no exenta de peligro. El condensado puede contener, además de partículas de polvo, hidrocarburos, dióxido de azufre, cobre, plomo, hierro y otras sustancias debido a la contaminación del aire que aspira el compresor. En Alemania, la eliminación del condensado de los sistemas de aire comprimido se rige por la Ley sobre el Régimen Hidráulico, que en su artículo 62 establece que las aguas contaminadas deben tratarse conforme 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 para el valor de pH, que en Alemania varían según el estado federado y el sector del que se trate. En el caso de los hidrocarburos, por ejemplo, el valor límite es de 20 mg/l, mientras que el pH admisible del condensado oscila entre 6 y 9.

2. Composición y características del condensado (imagen 2)

a) Dispersión

El condensado del aire comprimido puede presentar características diferentes. Por lo general, se forman dispersiones en los compresores de tornillo refrigerados por fluido que utilizan aceites sintéticos como el Sigma Fluid S460. Normalmente, este condensado presenta un pH de entre 6 y 9, por lo que puede considerarse neutro. Las impurezas del ambiente se depositan en una capa de aceite que flota sobre el agua y que es fácil de separar.



Imagen 1: La evacuación segura del condensado debe quedar garantizada en todos los puntos de acumulación de su sistema de aire comprimido. La mejor forma de conseguirlo es utilizar purgadores de condensado con control electrónico.

b) Emulsión

La presencia de un líquido lechoso que no llega a separarse en dos fases con el transcurso de los días es una señal evidente de que nos encontramos ante una emulsión. Esta forma de condensado suele darse en compresores de pistón, de tornillo y multicelulares que funcionan con aceites convencionales.

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 el aceite y el agua ni las impurezas aspiradas, como el polvo o los metales pesados, por medio de la gravedad.



Imagen 2: Todos los compresores aspiran vapor de agua e impurezas junto con el aire atmosférico. Por eso, antes de verter el condensado (imagen 2 [1]) a la canalización (imagen 2 [3]), es necesario eliminar el aceite y las demás sustancias contaminantes que contiene (imagen 2 [2]).



Imagen 3: Sistema para separar el condensado del aire comprimido mediante la fuerza de la gravedad (diagrama funcional).

Además, si los aceites presentes contienen éster, el condensado puede ser agresivo y es necesario neutralizarlo. El tratamiento de este tipo de condensados solamente puede realizarse con un separador de emulsiones.

3. Eliminación a cargo de terceros

Naturalmente, también es posible recoger todo el condensado y entregarlo a una empresa especializada para su eliminación, aunque en este caso los costes pueden llegar a superar los 500 €/m³ en función del tipo de condensado del que se trate. Considerando las grandes cantidades de condensado que suelen producirse, la mayoría de las veces compensa optar por el tratamiento en las instalaciones propias, que además tiene una ventaja: tan solo queda un 1 % de la cantidad de condensado original, que debe eliminarse respetando el medioambiente.

4. Procedimientos de tratamiento

a) Para dispersiones

Para el tratamiento de este tipo de condensado, en la mayoría de los casos basta con utilizar un aparato de tres cámaras con dos cámaras de preseparación y un filtro de carbón activo (imágenes 3 y 4). La separación se produce gracias a la fuerza de la gra-



Imagen 4: Sistema de separación del condensado KAESER AQUAMAT.

flujo volumétrico de hasta 100 m³/min. Naturalmente, si se necesitan capacidades mayores, siempre es posible conectar varias unidades 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 cross-flow (corrientes cruzadas). El condensado prefiltrado atraviesa las membranas. Una parte del líquido las atraviesa y sale del aparato con las características necesarias para su eliminación por la canalización.

El segundo tipo de aparatos funciona con un agente separador pulverizado. Este material encapsula las partículas de aceite, formando así una especie de copos. Usando filtros con la porosidad correcta será posible eliminar estos copos. El agua sobrante puede eliminarse por la canalización.

La capa de aceite que flota sobre el agua en la cámara de separación se dirige a un depósito colector y se trata como aceite usado. A continuación, el agua restante se filtra en dos fases y puede verterse a la canalización. Con la separación por gravedad, el usuario ahorra un 95 % con respecto a los costes de entregar el condensado a una empresa externa especializada. Estos aparatos están disponibles actualmente para compresores con un

Regulación eficiente de los compresores

Para minimizar las fases de carga parcial, que multiplican los costes debido al gran consumo de energía, es imprescindible ajustar con precisión el flujo volumétrico de los compresores a la demanda variable de aire comprimido. Así pues, acertar con el controlador del compresor es clave para garantizar la eficiencia energética.

Cuando los compresores funcionan con un nivel de carga inferior al 50 %, control adaptado a las necesidades: aumentando el nivel de carga como

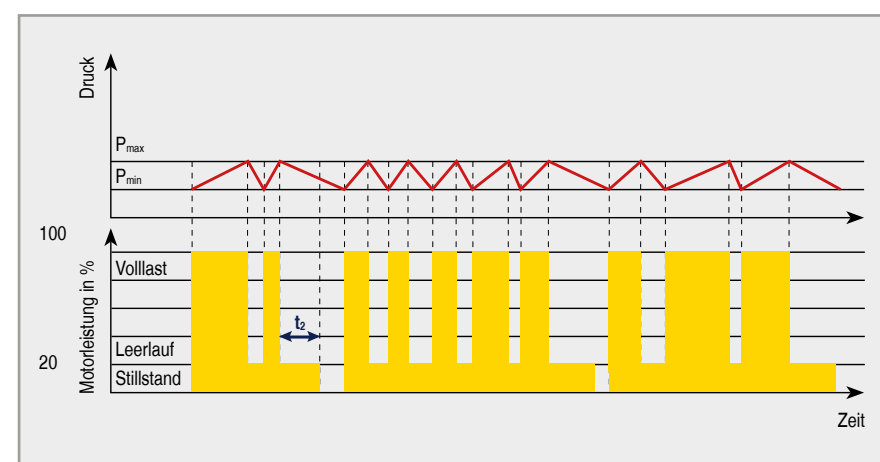


Imagen 1: Regulación intermitente plena carga/marcha en vacío/parada diferida con fases de marcha en vacío definidas (regulación Dual).

se dispara el consumo 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 a plena carga. La solución es un sistema de

mínimo hasta el 90 %, es posible ahorrar más de un 20 % de energía.

1. Controlador interno

a) Regulación plena carga/marcha en vacío

La mayoría de los compresores utilizan un motor asíncrono de corriente

trifásica. La frecuencia de conmutación de este tipo de motores disminuye a medida que aumenta la potencia, por lo que no permite conectar y desconectar los compresores con diferencias de conmutación pequeñas para adaptar su producción al consumo real. Por lo tanto, las operaciones de conmutación del compresor solo sirven para aliviar las zonas que soportan presión.

El motor sigue funcionando por inercia durante algunos minutos (imagen 1), por lo que la energía que consuma será energía perdida. Durante la fase de marcha en vacío, los compresores siguen consumiendo más o menos un 20 % de la energía que consumen a plena carga.

Los modernos sistemas de regulación optimizados por ordenador ayudan a evitar las costosas fases de marcha en vacío al tiempo que protegen el motor. Entre esos sistemas están la regulación Quadro, que selecciona automáticamente el mejor modo de servicio (imagen 3); la regulación Dynamic, que adapta las fases de marcha en vacío a la temperatura del motor de accionamiento (imagen 4), y la regulación Vario, que calcula los tiempos de marcha en vacío de forma variable (imagen 5).

No se recomienda utilizar una regulación proporcional con estrangulación en el lado de aspiración, porque con una carga del 50 % el compresor sigue consumiendo el 85 % de la energía que necesita con un nivel de carga del 100 %.

b) Convertidor de frecuencia

Los compresores de velocidad variable con convertidor de frecuencia

Imagen 2: Los sistemas de control modernos pueden ahorrar hasta un 20 % de energía.



(imagen 6) no presentan un rendimiento constante en todo su rango de regulación. Por ejemplo, en el intervalo del 30 al 100 %, el rendimiento disminuye del 96 al 88 % para un motor de 90 kW, sin contar las pérdidas del convertidor y el comportamiento no lineal de los compresores. Lo ideal es que las unidades con convertidor de frecuencia funcionen en un rango del 40-80 %, que es el que suele ofrecer la mejor rentabilidad.

Los componentes deben estar diseñados para una carga del 100 %. Utilizar incorrectamente un sistema con convertidor de frecuencia puede disparar el consumo de energía sin que el usuario se percate de ello. Los convertidores de frecuencia no son una solución infalible para optimizar la eficiencia energética de los compresores.

2. Clasificación de la demanda de aire comprimido

Por regla general, es posible clasificar los compresores según su función, teniendo en cuenta si funcionan como compresor de carga base, de carga media, de carga punta o de reserva.

a) Carga base

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

b) Carga punta

Es la cantidad de aire comprimido que se necesita en los momentos de máximo consumo. Es variable, ya que la demanda de los distintos consumidores es diferente.

Para que los compresores puedan hacer frente a los distintos niveles de carga, deben tener varios modos de regulación.

Los controladores internos deben ser capaces de mantener los compresores en marcha para que sigan suministrando aire comprimido aunque falle un sistema de mando superior.

3. Controlador maestro

Los controladores maestros modernos con software basado en web no solo son capaces de coordinar el funcio-

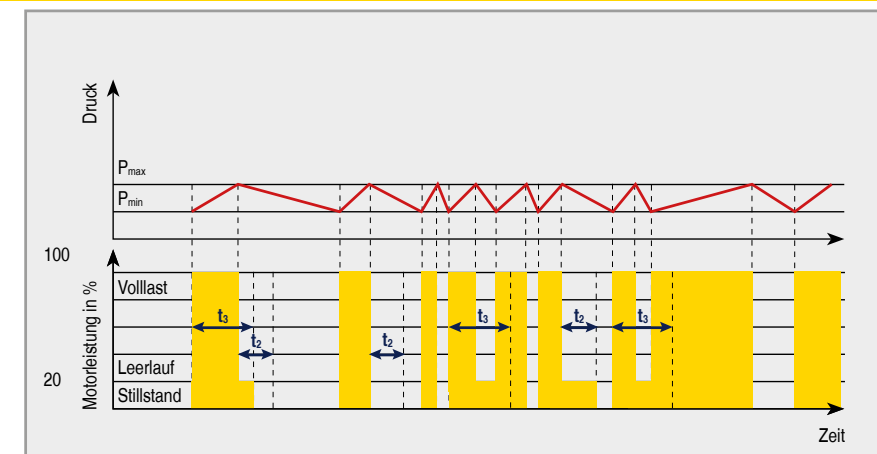


Imagen 3: Regulación intermitente plena carga/marcha en vacío/parada diferida con selección automática del modo de servicio óptimo (regulación Quadro).

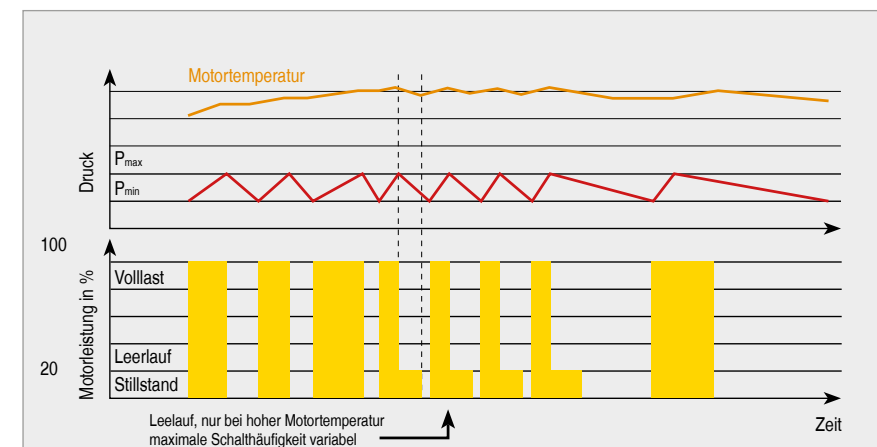


Imagen 4: Regulación Dynamic, basada en la regulación Dual, con fases de marcha en vacío en función de la temperatura del motor de accionamiento.

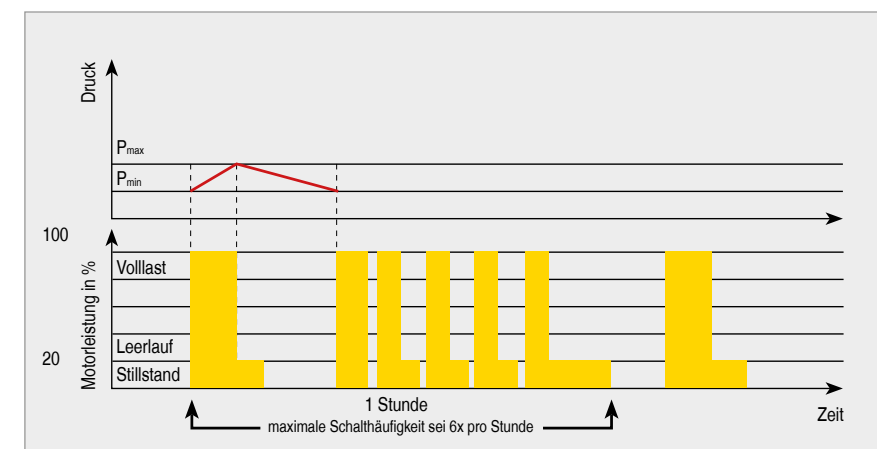


Imagen 5: Regulación Vario con cálculo variable de las fases de marcha en vacío.

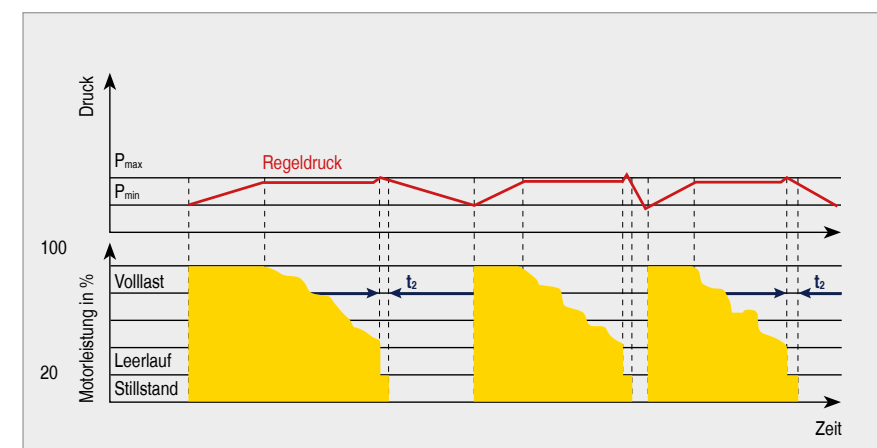


Imagen 6: Regulación continua del flujo volumétrico por medio de la velocidad de giro del motor (convertidor de frecuencia).

Regulación eficiente de los compresores

namiento de los compresores de una estación de aire comprimido para optimizar la eficiencia energética; también pueden recopilar datos de rentabilidad y documentar la eficiencia del suministro de aire. Además, al transmitir los datos del proceso al fabricante, pueden servir de base para una gestión moderna de la instalación con monitorización, análisis y mantenimiento preventivo.

a) Splitting (repartición de la carga)
El splitting consiste en distribuir compresores con potencias y modos de regulación iguales o diferentes para adaptarlos a la demanda de aire en carga base y carga punta (**imagen 7**).

b) Funciones de los controladores maestros
Coordinar el funcionamiento de todos los compresores de una estación es una tarea ardua y compleja. Además de ser capaces de conectar compresores de distintos tipos y tamaños en el

momento adecuado, los controladores maestros deben servir para monitorizar el mantenimiento técnico de los equipos, igualar las horas de funcionamiento de los compresores y registrar averías con el fin de minimizar los costes de mantenimiento de la estación de aire comprimido y mejorar su seguridad de servicio.

c) Graduación correcta
Graduar correctamente los compresores es imprescindible para que el controlador maestro funcione de manera eficiente, es decir, ahorrando energía. Por eso, la suma de los flujos volumétricos de los compresores de carga punta debe ser mayor que la de los compresores de carga base conectados a continuación. De la misma forma, si se utiliza un compresor de carga punta con convertidor de frecuencia, su campo de regulación debe ser mayor que el caudal de la unidad conectada a

continuación. De lo contrario, no puede garantizarse la rentabilidad del suministro de aire comprimido.

d) Transmisión segura de datos
Otra condición importante para garantizar el buen funcionamiento y la eficiencia del controlador maestro es la transmisión segura de los datos de servicio. Para ello, la información no solo debe transmitirse dentro de cada uno de los compresores, sino también entre estos y el sistema de mando superior. Asimismo, es preciso vigilar la vía de transmisión de las señales para detectar de inmediato cualquier avería, como la rotura de un cable de conexión.

Las vías de transmisión habituales son:
1. contactos libres de potencial;
2. señales analógicas de 4-20 mA;
3. interfaces electrónicas, como Profibus DP, Modbus o Ethernet. Industrial Ethernet ofrece una tec-

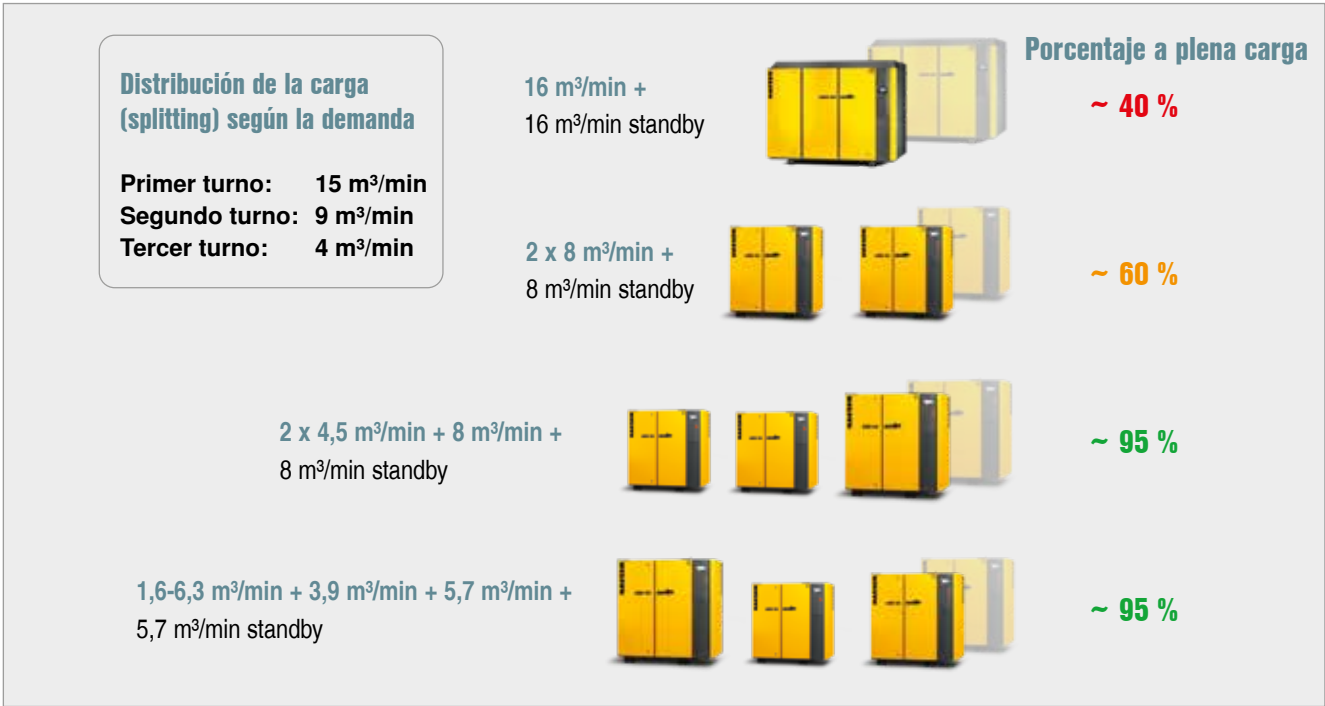


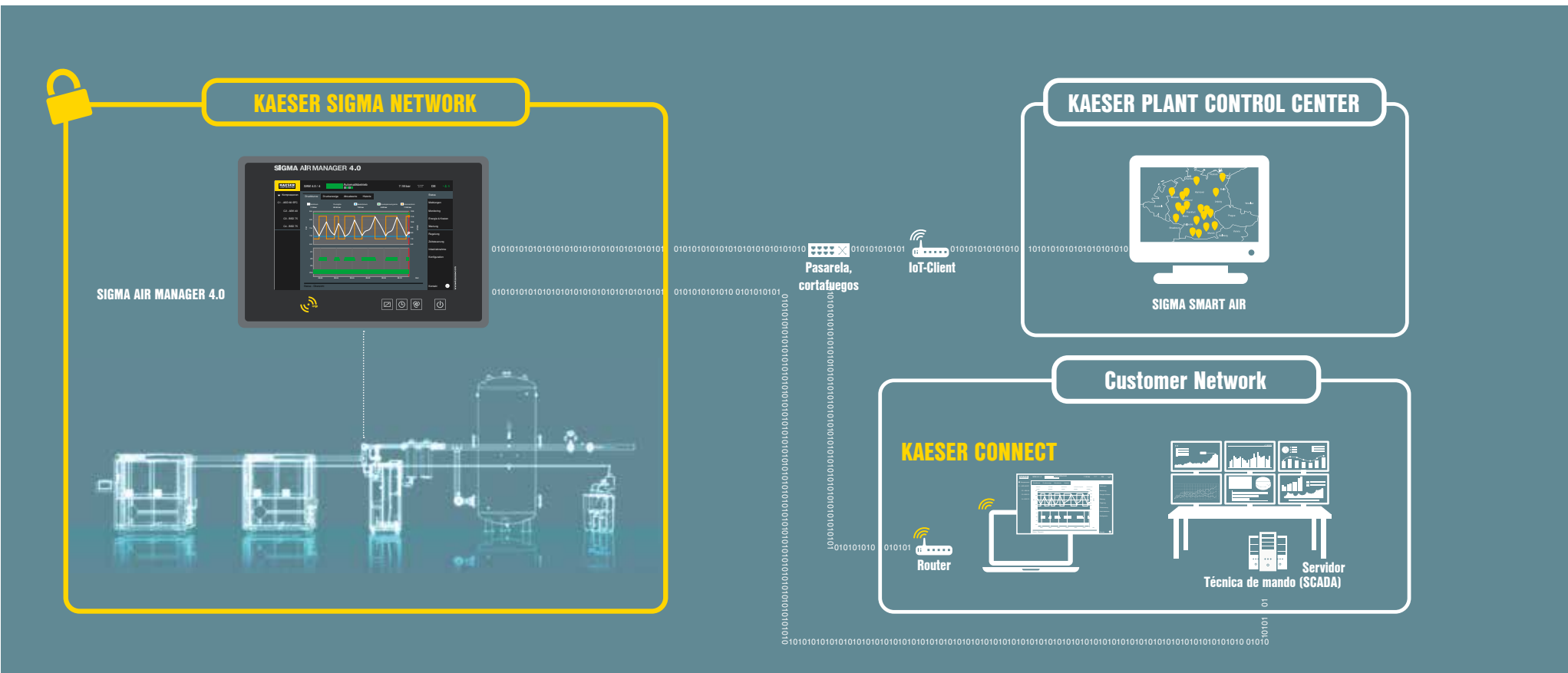
Imagen 7: Distribución de la carga según la demanda en compresores de distintos tamaños.

nología de transmisión de última generación. Gracias a ella es posible transmitir fácilmente grandes cantidades de datos en poco tiempo y a grandes distancias. Combinada

con otros sistemas de transmisión modernos, facilita la visualización y la conexión a ordenadores y equipos de monitorización convencionales. Estas características permiten instalar el sis-

tema de mando superior en un lugar alejado de la estación de compresores propiamente dicha (**imagen 8**).

Imagen 8: Las numerosas opciones de conexión de los sistemas superiores de control contribuyen al funcionamiento eficiente de la estación de aire comprimido.



Coordinación óptima de los compresores para ahorrar energía

Las estaciones de aire comprimido están formadas normalmente por varios compresores iguales o de tamaños diferentes. Para coordinar todas estas máquinas se necesita un controlador maestro, que se encarga de adaptar la producción de aire comprimido a las necesidades del cliente con la máxima eficiencia energética.

Lo que generalmente se denomina controlador de compresores es en realidad un sistema de regulación. Los hay de cuatro tipos:

1. Regulación en cascada

Este es el tipo de regulación convencional. 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 conecta un solo compresor, por lo que la presión oscilará en el tramo superior entre la presión mínima ($p_{\min}$) y la presión máxima ($p_{\max}$) de dicho compresor. La presión disminuye a medida que aumenta la demanda de aire y se incrementa el número de compresores conectados (imagen 1, columna 1). El resultado no es el idóneo, ya que si el consumo de aire es bajo, el sistema funciona a la máxima presión, lo que hace que aumenten las pérdidas de energía por fugas; por el contrario, si el

consumo es alto, la presión del sistema disminuye y se reducen las reservas. Dependiendo de si se utilizan presostatos de membrana convencionales, manómetros de contacto o sensores electrónicos de presión a modo de transductores, el sistema de regulación puede llegar a presentar una enorme oscilación de presión debido a que cada compresor se asigna a un determinado rango de presión. Cuantos más compresores se utilicen, mayores serán los rangos de presión totales, lo que deriva en una regulación ineficaz por los motivos ya mencionados: aumento de la presión, fugas y pérdidas de energía. Por todo ello, si se combinan más de dos compresores, conviene sustituir la regulación en cascada por otro tipo de regulación.

2. Regulación por banda de presión

A diferencia de la regulación en cascada, la regulación por banda de presión (imagen 1, columna 2) ofrece la posibilidad de coordinar el funcionamiento de varios compresores en un

determinado rango de presión. De esta manera, se puede limitar relativamente bien el rango de presión dentro del cual se regula toda la estación de aire comprimido.

2. a) Regulación simple por banda de presión

Los sistemas simples de regulación por banda de presión no pueden coordinar el funcionamiento de compresores de distintos tamaños, por lo que no sirven para cubrir las necesidades de carga punta de las redes de aire comprimido en las que la demanda varía constantemente. Por eso, se ha añadido a este procedimiento un sistema cuya función es controlar los respectivos compresores teniendo en cuenta los tiempos de bajada y subida de la presión para cubrir la demanda de aire comprimido en los momentos de carga punta. Sin embargo, este tipo de regulación requiere una oscilación relativamente grande de la banda de presión (imagen 2). Además, al igual que sucede con la regulación en cascada, no se tienen en cuenta las reacciones de los compresores ni de la red de aire comprimido, lo que hace que no se llegue a alcanzar el punto de presión mínimo posible. Por este motivo, es necesario dejar una distancia de seguridad entre la presión mínima requerida y el punto de conmutación más bajo de la regulación.

2. b) Regulación por banda de presión basada en la presión nominal

La regulación por banda de presión basada en la presión nominal supone una mejora decisiva (imagen 1, columna 3). El objetivo en este caso es mantener una determinada presión nominal media dentro de unos límites de presión definidos monitorizando al mismo tiempo la curva de presión dentro de unos límites más estrechos para controlar compresores de distintos tamaños en función del consumo de aire comprimido. La gran ventaja de este tipo de regulación es que permite reducir considerablemente la presión media de servicio del sistema de aire comprimido y, por lo tanto, ahorrar costes y energía.

3. Regulación por presión nominal

La regulación por presión nominal (imagen 1, columna 4) es la mejor opción que existe hoy en día. Este sistema carece de límites de presión y puntos de conmutación fijos; lo único que se define es la presión de servicio mínima que debe alcanzarse siempre en el punto de medición del sensor de presión. Además de la evolución del consumo de aire comprimido, se observan y se registran las maniobras de conmutación efectuadas con el fin de analizar las incidencias del sistema de aire comprimido y determinar cuáles son los factores que más influyen en el comportamiento de la estación y sus componentes. El proceso de optimización basado en simulaciones del controlador maestro SIGMA AIR MANAGER 4.0 anticipa en tiempo real las maniobras de conmutación más eficientes, para lo cual se tienen en cuenta todas las pérdidas posibles causadas por el aumento de la presión y los tiempos de arranque, de reacción y de marcha en vacío (imagen 3). El objetivo es minimizar los costes de producción del aire comprimido respetando la presión nominal fijada (imagen 4).

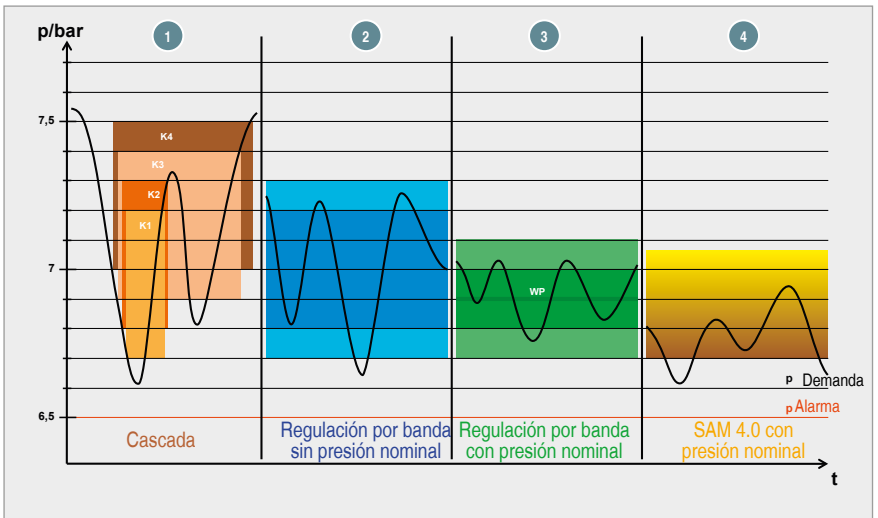


Imagen 1: Tipos de regulación superior de compresores.

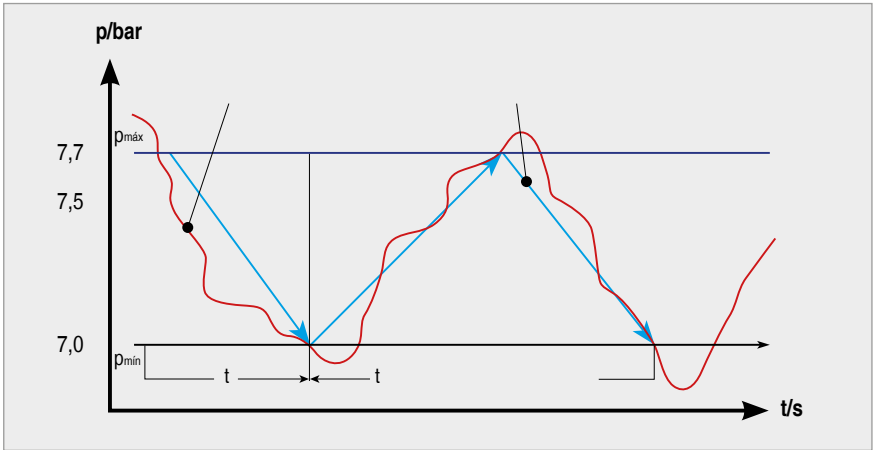


Imagen 2: Regulación simple por banda de presión con análisis del promedio de la curva de presión-tiempo y amplia oscilación de la banda de presión.

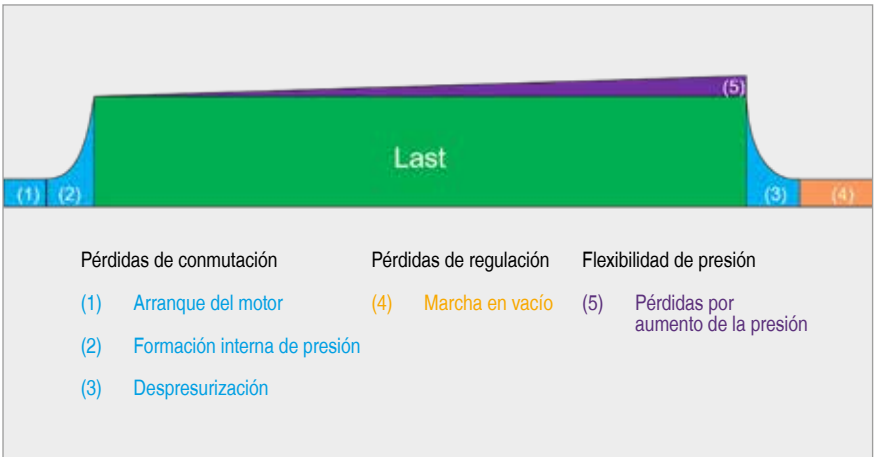


Imagen 3: Ciclo de conmutación de un compresor de tornillo.

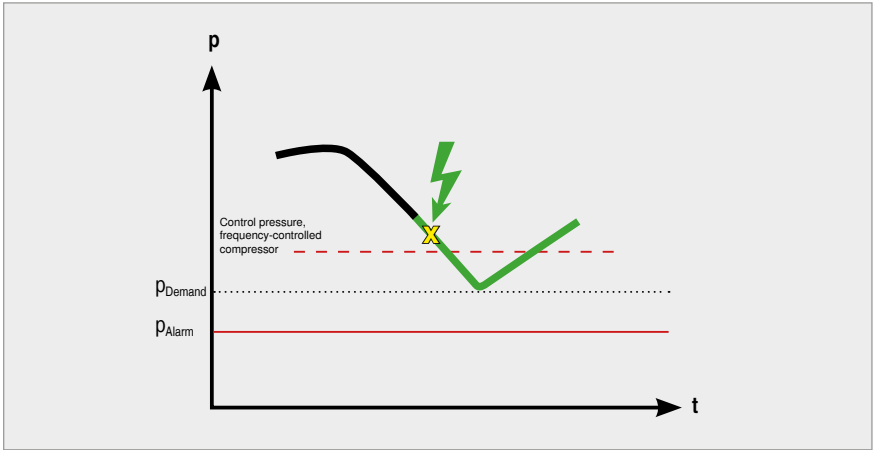


Imagen 4: El sistema se conecta a tiempo para evitar que la presión caiga por debajo del valor nominal mínimo especificado.

Ahorro de energía gracias a la recuperación del calor

En vista del continuo aumento de los precios de la energía, queda claro que el ahorro energético ya no es solo una cuestión ecológica, sino también económica. En este sentido, los fabricantes de compresores ofrecen numerosas posibilidades, como los sistemas de recuperación del calor que generan los compresores de tornillo.

1. Los compresores producen sobre todo una cosa: calor

Es un hecho que el 100 % de la energía absorbida por un compresor se transforma en calor. Al comprimirlo, el aire se convierte en una fuente de energía (imagen 1) que puede aprovecharse de varias maneras: relajando el aire hasta la presión atmosférica, enfriándolo o absorbiendo calor del entorno.

2. Posibilidades que ofrece 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 para calefacción el aire caliente que sale del sistema de refrigeración del compresor, tanto en máquinas refrigeradas por aire como por fluido o aceite. El calor derivado se conduce por un sistema de canales hasta las estancias que se quieren calentar.

Naturalmente, este aire caliente puede utilizarse también para otros fines, como procesos de secado, cortinas de calefacción en entradas abiertas de edificios o para precalentar aire de combustión. Si no se necesita el calor, puede desviarse la trayectoria del aire caliente hacia el exterior por medio de una escotilla o rejilla. Un mecanismo de control regulado por un termostato permite dosificar el aire caliente con precisión para que la temperatura deseada se mantenga constante. Con esta variante puede aprovecharse hasta el 96 % de la potencia eléctrica absorbida por el compresor de tornillo. Incluso puede ser recomendable en instalaciones pequeñas, ya que un compresor de tan solo 7,5 kW ya pro-

duce 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 compresores de tornillo refrigerados por

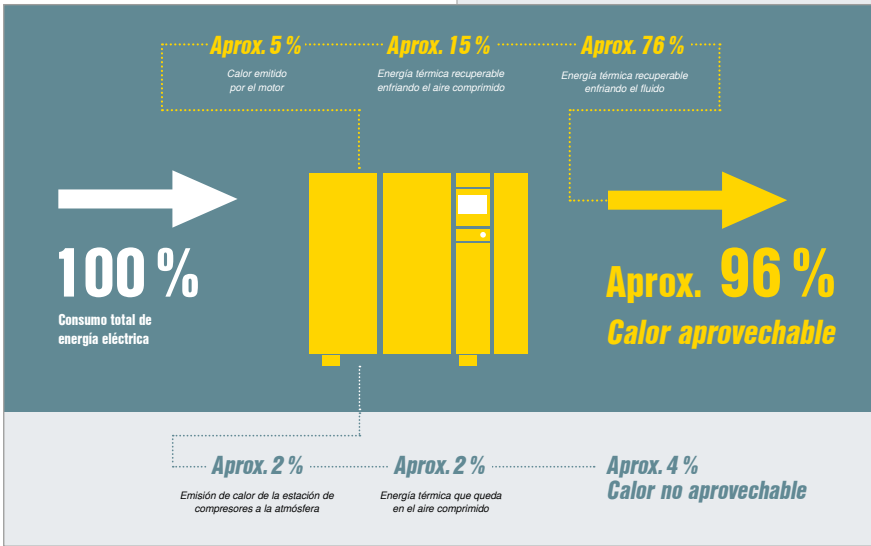
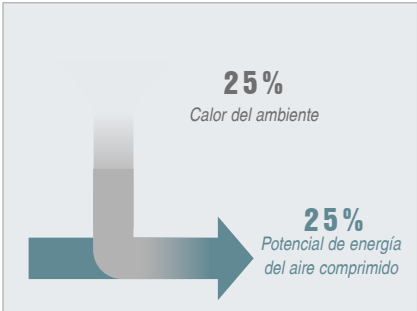


Imagen 1: Diagrama de flujo térmico.

aire como por agua, es posible producir agua caliente para diversos fines. Dependiendo de si el agua caliente se va a utilizar para sistemas de calefacción, para duchas y sistemas de lavado o para procesos de producción y limpieza, se utilizan intercambiadores de calor de placas, intercambiadores de calor de seguridad o se transfiere el calor a través de un circuito intermedio (imagen 3).

Estos intercambiadores permiten calentar el agua hasta una temperatura máxima de 70 °C. La experiencia demuestra que los gastos extras que

Imagen 2: Conexión de varios compresores a un sistema de recuperación del calor conforme a la normativa.



supone este sistema de recuperación del calor se amortizan en un plazo de dos años para compresores a partir de 7,5 kW, aunque para ello es imprescindible hacer una planificación correcta (imagen 2).

3. Aspectos de seguridad

Como norma general, el sistema primario de refrigeración del compresor no debe usarse al mismo tiempo como sistema de recuperación del calor: si este fallara, la refrigeración del compresor también dejaría de funcionar y se detendría la producción de aire comprimido. Por eso, para recuperar el calor, deben instalarse siempre intercambiadores de calor adicionales en el compresor, que de este modo puede seguir funcionando con seguridad en caso de avería. Si el intercambiador de calor del sistema de recuperación del calor deja de funcionar, el compresor pasa a utilizar el sistema primario de refrigeración por aire o agua para que siga estando garantizado el suministro de aire comprimido.

4. Hasta un 96 % de energía aprovechable

La mayor parte de la energía utilizada y aprovechable en forma de calor, concretamente el 76 %, se encuentra en el medio refrigerante de los compresores con refrigeración por inyección de aceite o fluido, mientras que el 15 % corresponde al aire comprimido y hasta un 5 % son las pérdidas de calor del motor eléctrico. En el caso de los compresores de tornillo totalmente encapsulados refrigerados por aceite o fluido, estas pérdidas del motor pueden llegar a recuperarse en forma de energía calorífica por medio de una refrigeración adecuada. Así pues, en total puede aprovecharse térmicamente hasta el 96 % de la energía que consume el compresor. Solamente el 2 % de la energía se pierde por irradiación al exterior, mientras que un 2 % permanece en el aire comprimido (imagen 1).

5. Resultado

Sin duda, la recuperación del calor es una opción atractiva y ecológica para mejorar el rendimiento energético de un sistema de aire comprimido. El gasto que supone es relativamente pequeño.

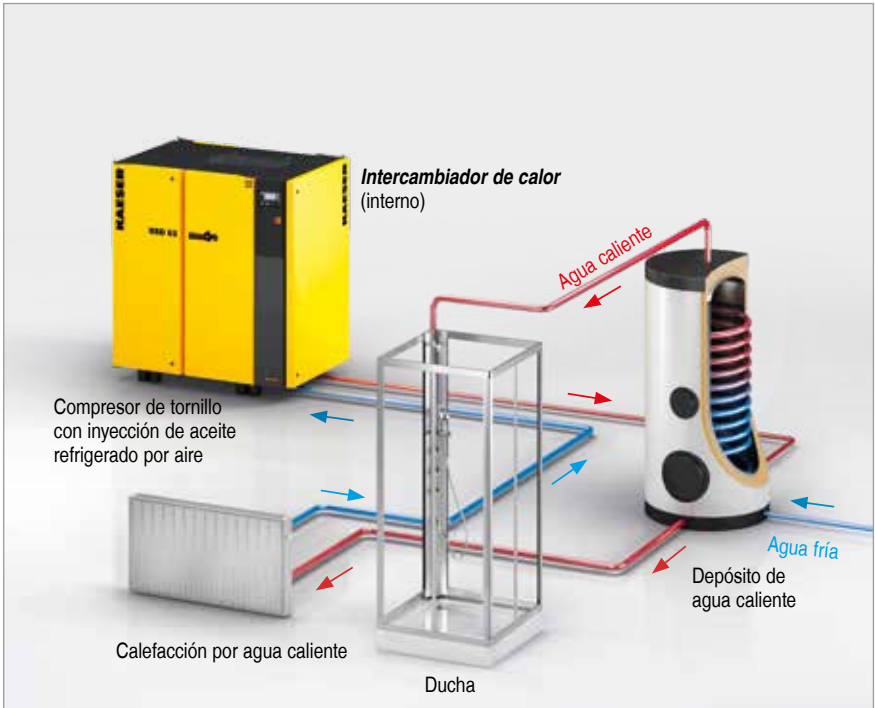


Imagen 3: Diagrama de recuperación del calor para calentar agua.

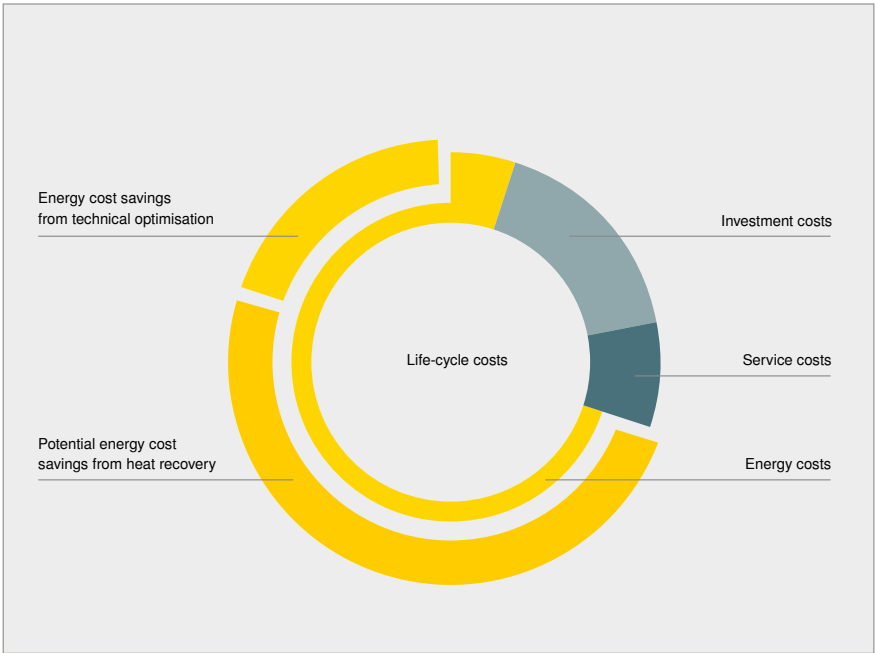


Imagen 4: La recuperación del calor ofrece un importante potencial de ahorro adicional de costes energéticos.

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 (imagen 4).

Nueva planificación de una red de aire comprimido

El aire comprimido es una fuente de energía especialmente económica cuando se coordinan perfectamente su producción, tratamiento y distribución. Para ello no solo es importante planificar y ejecutar correctamente la propia estación de compresores, sino también dimensionar e instalar bien la red de aire comprimido.

1. Producción económica de aire comprimido

Teniendo en cuenta todos los gastos de energía, refrigerantes, mantenimiento y amortización, un metro cúbico de aire comprimido puede costar entre 1 y 3 céntimos de euro, dependiendo del modelo, el tamaño, la carga y el estado de mantenimiento del compresor. Por esta razón, muchas empresas dan una gran importancia a una producción económica del aire comprimido. Este es justamente el motivo por el cual los compresores de tornillo refrigerados por aceite o fluido tienen éxito: con estas máquinas puede ahorrarse hasta un 20 % de los costes que generaba antes la producción de aire comprimido.

2. El tratamiento influye en la red de aire comprimido

Sin embargo, al tratamiento del aire se le suele dar una importancia menor, cuando en realidad es fundamental para reducir al mínimo los costes de mantenimiento de los consumidores de aire comprimido y de la red de distribución. Es importante que las tuberías que transportan aire que aún no está seco y, por lo tanto, contiene humedad estén hechas de un material con protección anticorrosión para que no se vea afectada la calidad del aire comprimido previamente tratado.

a) Los secadores frigoríficos reducen el mantenimiento

Los secadores frigoríficos son adecuados 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, el ahorro de costes de mantenimiento y reparación de las conducciones y herramientas neumáticas es hasta diez

veces superior al gasto que suponen los secadores frigoríficos.

b) Unidades combinadas para ahorrar espacio

Para las empresas pequeñas y la producción descentralizada de aire comprimido, el mercado ofrece soluciones compactas formadas por un compresor de tornillo, un secador frigorífico y un depósito de aire comprimido (imagen 1).

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

El primer paso es decidir si la producción de aire comprimido va a ser centralizada o descentralizada. Para empresas pequeñas y medianas suele ser recomendable una estación central, que por lo general no presentan los problemas propios de las grandes redes de aire comprimido centralizadas: altos gastos de instalación, riesgo de congelación de las conducciones mal aisladas en invierno y fuertes caídas de presión por las grandes distancias que cubren las conducciones.



Imagen 1: AIRCENTER, una estación de aire comprimido moderna y compacta para producir, tratar y almacenar aire comprimido en poco espacio.

a) Dimensionado correcto de la red

A la hora de dimensionar la red de tuberías, hay que hacer bien los cálculos. La base de cálculo es una caída máxima de presión de 0,1 bar entre el compresor y los consumidores de aire comprimido, más el tratamiento habitual del aire (secador frigorífico) y la diferencia de conmutación del compresor.

Debe contarse con las siguientes pérdidas de presión (imagen 2):

Tubería principal (1)	0,03 bar
Tubería de distribución (2)	0,03 bar
Tubería de conexión (3)	0,04 bar
Secador (4)	0,20 bar
Unidad de mantenimiento y manguera (5)	0,50 bar
Total máx.	0,80 bar

Esta lista demuestra lo importante que es calcular las pérdidas en cada uno de los tramos, sin olvidar los empalmes y las unidades de cierre. No basta con hacer el cálculo contando solo los metros lineales de tubería; lo que hay que determinar es más bien su longitud 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 correcta de la longitud de las tuberías, hay que multiplicar la longitud de las conducciones rectas por 1,6. Su diámetro se puede determinar fácilmente basándose en los diagramas de diseño o las fórmulas habituales (imagen 3). También se puede utilizar la KAESER Toolbox (<http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner>) para diseñar la red de tuberías.

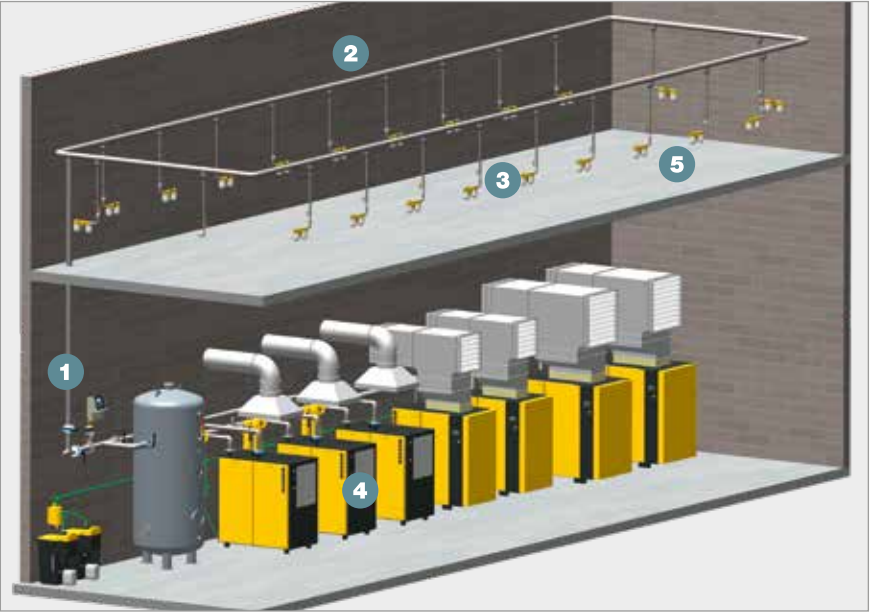


Imagen 2: Componentes principales de un sistema de distribución de aire comprimido: tubería principal (1), tubería de distribución (2), tubería de conexión (3), secador (4), unidad de mantenimiento/manguera (5).

b) Ahorro energético en las tuberías

Para ahorrar energía, las tuberías deben instalarse lo más rectas posible. Si hay que esquivar algún obstáculo, como pilares o columnas, es mejor pasar la tubería en línea recta por el lado para evitar los recodos. Las esquinas afiladas de 90° ocasionan grandes pérdidas de presión, por lo que es recomendable sustituirlas por codos de 90° de grandes dimensiones. En

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 (m³/s)
 Δp = pérdida de presión (Pa)

Imagen 3: Fórmula de aproximación para calcular el diámetro de las tuberías.

lugar de las llaves de paso habituales, conviene instalar llaves de bola o válvulas de lengüeta que puedan abrirse por completo. En las zonas húmedas (es decir, en el caso de una estación moderna de aire comprimido, solo en la sala de compresores), las entradas y salidas de

necesidades. Esa es la única manera de acertar con la elección.

d) Importante: conexión correcta de las tuberías

El método tradicional de unir las tuberías consiste en empalmar los distintos tramos soldándolos, pegándolos o atornillándolos y pegándolos entre sí. Aunque esto dificulte su separación posterior, este tipo de uniones reducen al mínimo el peligro de fugas. También se han popularizado las uniones por compresión en tubos de cobre, de acero inoxidable y de acero al carbono. El material de la junta tórica que se utiliza para garantizar la estanqueidad depende del fluido y de las condiciones de servicio. La calidad de la unión depende básicamente de la herramienta de compresión; para este tipo de uniones no se necesitan materiales auxiliares.

la red principal deben colocarse hacia arriba o, al menos, lateralmente. La conducción principal debe tener una inclinación del 2 por mil y en su punto más bajo debe instalarse un separador de condensado. En cambio, en el sector seco, las conducciones pueden ser horizontales y las derivaciones pueden dirigirse directamente hacia abajo.

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

En cuestión de materiales, no hay una sola recomendación; solo en los compresores conviene utilizar siempre tuberías de metal debido a las elevadas cargas térmicas. Ni siquiera el precio de compra es un factor decisivo: las tuberías galvanizadas, las de cobre y las de plástico tienen precios similares si se suma el coste de los materiales y su instalación. Las tuberías de acero inoxidable son aproximadamente un 20 % más caras, aunque ahora existen métodos de mecanización más eficientes que han conseguido rebajar los precios.

Muchos fabricantes ofrecen tablas en las que se detallan las condiciones óptimas para cada material. Así pues, conviene consultar detenidamente dichas tablas antes de tomar cualquier decisión y tener en cuenta la carga que tendrán que soportar las tuberías en el futuro para hacerse una idea de las

Saneamiento de redes de aire comprimido

Año tras año, miles de euros se esfuman 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. Para solucionar ese problema, primero hay que pensar bien qué hacer. A continuación le ofrecemos una serie de consejos para sanear las conducciones de su red de aire comprimido.

1. Requisito básico: aire comprimido seco

Planificar una red nueva de aire comprimido permite evitar desde el principio muchos errores que acarrearán problemas posteriores. En cambio, sanear una red ya existente suele presentar más dificultades, sobre todo si se continúa alimentando el sistema con aire húmedo, en cuyo caso puede ser una misión casi imposible. Por eso, antes de comenzar con el saneamiento, es imprescindible que exista una unidad central de secado.

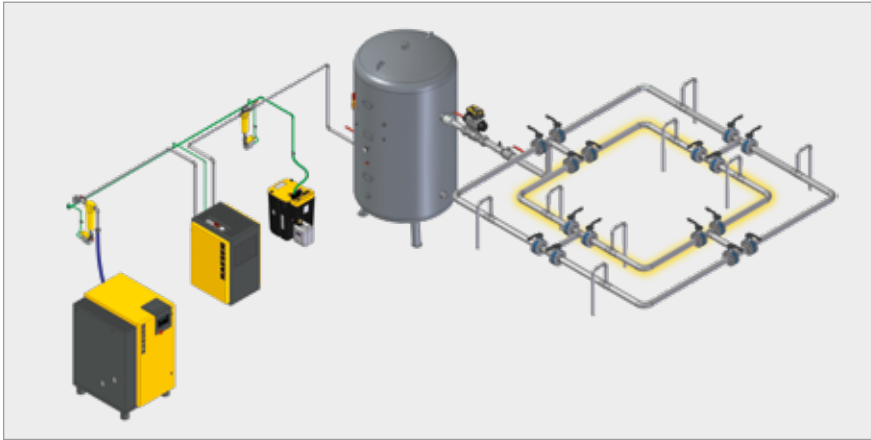


Imagen 1: Saneamiento de una tubería de aire comprimido instalando un segundo anillo de distribución.

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

Los sedimentos que se van depositando en las tuberías son los responsables de que las caídas de presión sigan siendo grandes a pesar de haber instalado aparatos de tratamiento adecuados. Estos depósitos se forman por las impurezas que arrastra el aire comprimido y que van reduciendo la sección disponible de la tubería.

a) Sustitución o limpieza 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, si las impurezas no han llegado a reducir notablemente la sección de las tuberías, en muchos casos basta con limpiarlas con aire comprimido y secarlas a continuación.

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 las tuberías se han estrechado demasiado, es conveniente instalar un anillo completo suplementario (imagen 1). Si dimensionamos

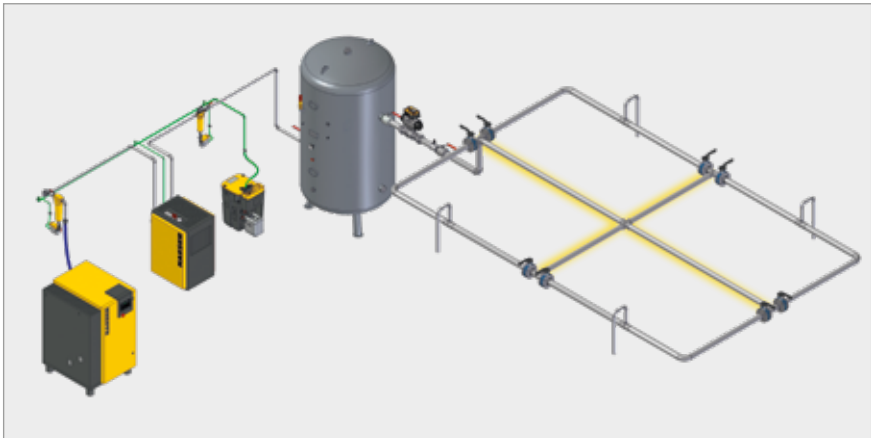


Imagen 2: Ampliación de la capacidad de flujo instalando tuberías cruzadas.

este segundo anillo correctamente, además del efecto principal deseado (reducir las pérdidas de presión), conseguiremos una mejor distribución del aire comprimido.

Otra posibilidad para sanear conducciones anulares consiste en instalar tuberías cruzadas (imagen 2).

3. Localización y eliminación de fugas

Lógicamente, con las medidas de saneamiento solo se consiguen unos

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, hay que determinar el alcance total de las pérdidas por fugas. Hay una forma fácil de hacerlo: desconectar primero todos los consumidores de aire comprimido y medir los tiempos de conexión del compresor durante un tiempo determi-

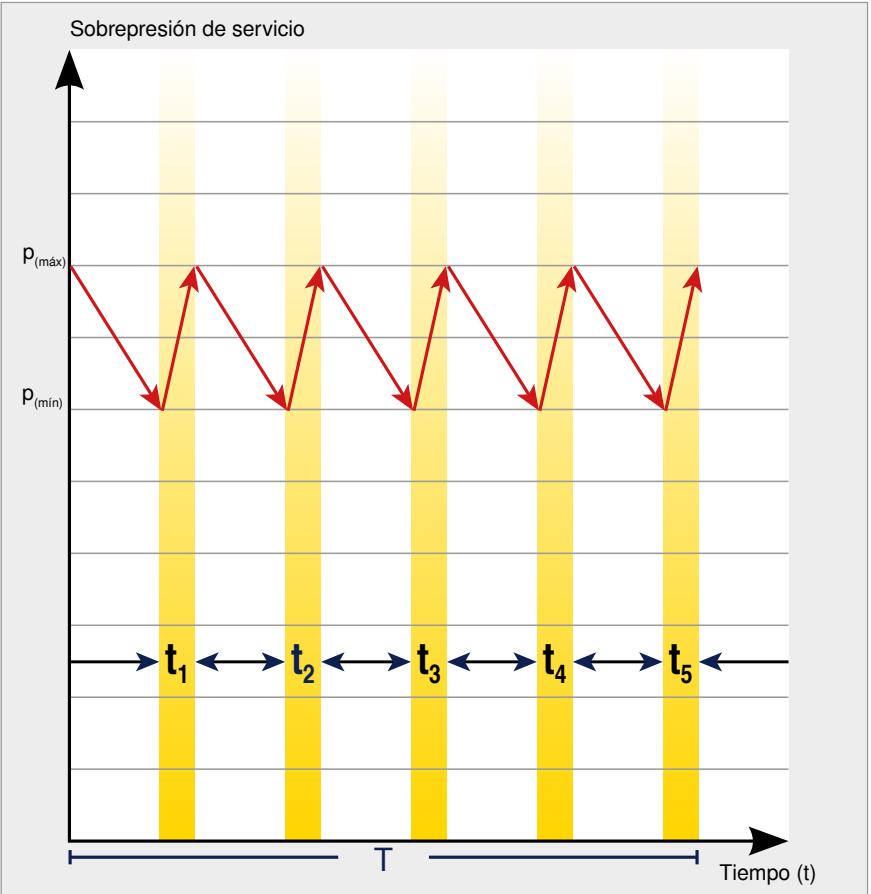


Imagen 3: Determinación de las fugas midiendo los periodos de conexión del compresor con los consumidores desconectados.

nado (imagen 3). Los resultados sirven de base para calcular las fugas con la siguiente fórmula:

Leyenda:

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

- VL** = fugas (m³/min)
VK = flujo volumétrico del compresor (m³/min)
Σ tx = t1 + t2 + t3 + t4 + t5
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 descentralizados de aire comprimido, primero hay que conectar todas las herramientas, máquinas y aparatos neumáticos y medir la suma de todas las fugas (imagen 4). Después, se cierran las válvulas de cierre

que hay antes de las conexiones de los consumidores y se miden las fugas de la red de tuberías (imagen 5). La diferencia entre las fugas totales y las fugas de la red representa las pérdidas que se producen en los consumidores, los instrumentos y los empalmes.

4. ¿Dónde se producen la mayoría de las fugas?

La experiencia demuestra que casi el 70 % de las fugas se producen en los últimos metros, es decir, en los puntos de toma de la red de aire comprimido. Estos puntos de fuga pueden localizarse exactamente con agua jabonosa o aerosoles especiales. Las conducciones principales no suelen presentar grandes fugas a no ser que se trate, por ejemplo, de una red originalmente húmeda y equipada con juntas viejas de cáñamo que se hayan secado por usar la red con posterioridad para aire seco. Recomendamos usar ultrasonidos para localizar con precisión las fugas en la red principal. Una vez que se han medido y eliminado las fugas

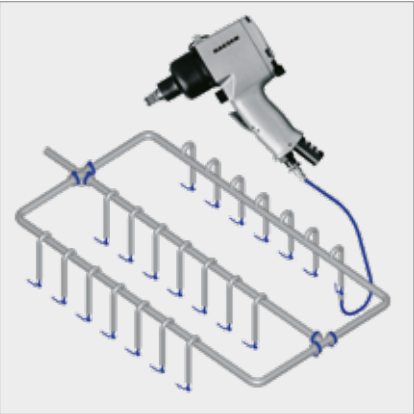


Imagen 4: Medición de fugas de los consumidores de aire comprimido + red de tuberías.

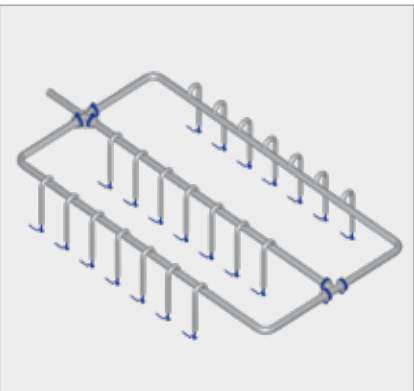


Imagen 5: Medición de fugas de la red de tuberías.

y que la sección de las tuberías se ha adaptado a la nueva demanda de aire, la red vuelve a convertirse en un sistema rentable.

Análisis de la demanda de aire (ADA): cálculo de la situación real

Las estaciones de aire comprimido modernas suelen ser sistemas complejos que solo resultan rentables si este hecho se tiene en cuenta a la hora de planificarlas, ampliarlas y modernizarlas. Para ello, KAESER dispone de una amplia oferta de servicios que además de incluir sus veteranos componentes neumáticos y el asesoramiento y la asistencia al usuario, engloba las nuevas posibilidades que ofrece el tratamiento de datos aplicado al aire comprimido.

La lista de usuarios de aire comprimido abarca todas las ramas de la industria, desde fabricantes de automóviles hasta plantas cementeras. Para que todas ellas puedan hacer un uso eficiente del aire comprimido, es imprescindible que cuenten con sistemas de producción y de tratamiento fiables capaces de producir la cantidad exacta de aire de calidad a buen precio.

1. El asesoramiento: la clave de la rentabilidad

Para responder a todas estas exigencias, el sistema de aire comprimido debe estar perfectamente adaptado al uso, a su lugar de instalación y a las condiciones ambientales. Es decir, debe estar formado por compresores, aparatos de tratamiento y tuberías del tamaño adecuado, contar con

un sistema de control eficiente y disponer de componentes de ventilación apropiados, de un buen sistema de tratamiento del condensado y, a ser posible, de un equipo de recuperación del calor. Esta es precisamente la idea en la que se basa el sistema de ahorro KAESER Energy Saving System, que incluye el análisis de la demanda de aire, la planificación (**imagen 1**), la ejecución, la formación y el servicio al cliente.

Los puntos más importantes son la calidad del asesoramiento y la elección correcta de los elementos técnicos, ya que el mayor potencial de ahorro se encuentra precisamente en el consumo de energía y en el mantenimiento, y no en los costes de adquisición de la estación.

2. Análisis de la demanda de aire

El punto de partida del asesoramiento por KESS es el análisis de la demanda actual y futura de aire comprimido. Este análisis realizado por KAESER, más conocido por sus siglas ADA (Análisis de la Demanda de Aire), tiene en cuenta distintos factores según el caso:

a) Planificación de una estación de aire comprimido nueva

A la hora de planificar una estación nueva de aire comprimido, el futuro usuario debe rellenar un formulario especial (**imagen 2**). La información obtenida sirve a los expertos de KAESER para calcular la demanda de aire comprimido y deter-

[illegible]

Imagen 2: Cuestionario sobre la estación de aire comprimido para instalaciones nuevas y antiguas (véase también el apéndice en la página 56 y siguientes).

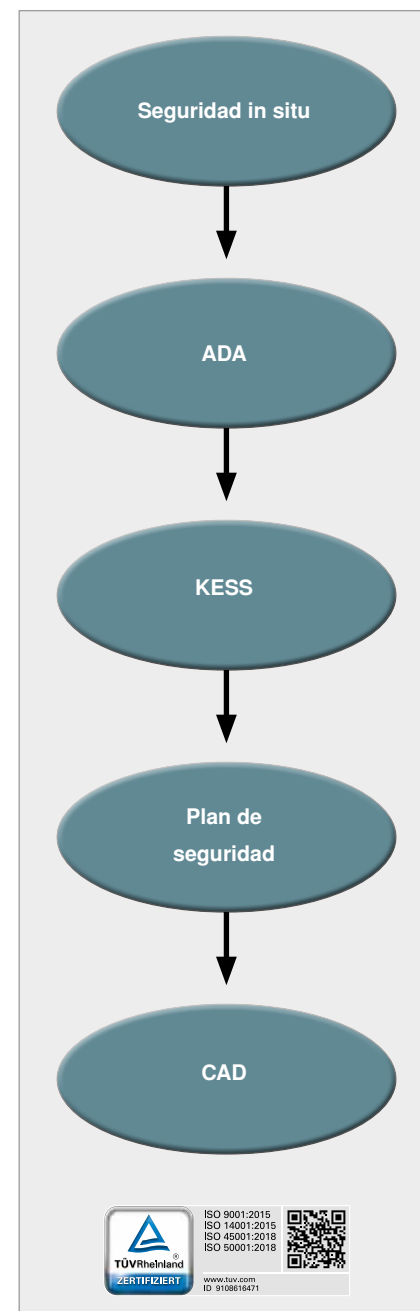


Imagen 1: Sistema de análisis de la demanda de aire de los compresores KAESER.

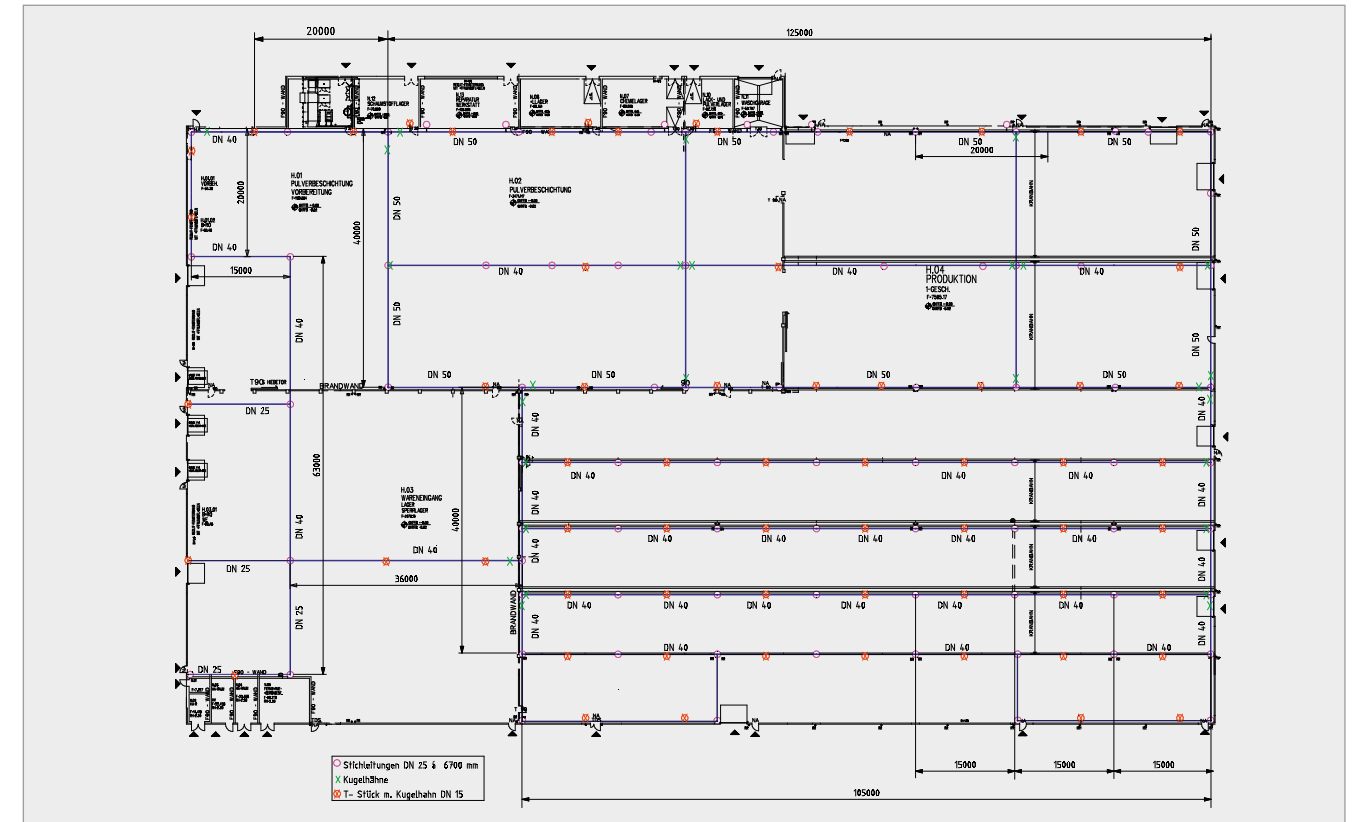


Imagen 3: Plano de distribución de una empresa con red de aire comprimido.

minar el equipo necesario para cubrirla. El formulario incluye todos los aspectos importantes para una producción económica y ecológica de aire comprimido.

b) Ampliación y modernización

A diferencia de los proyectos nuevos, en los proyectos de ampliación se tienen suficientes referencias para adaptar la estación a las necesidades reales. 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. No solo es importante determinar los valores medios, sino también los máximos y los mínimos (**imagen 8, pág. 31**).

c) Control de la eficacia de estaciones ya existentes

En el caso de las estaciones ya instaladas, también se recomienda comprobar de vez en cuando con la ayuda de un sistema asistido por ordenador si la carga de los compresores sigue siendo la adecuada, si los controladores maestros siguen estando bien programados y si las fugas de la

instalación se encuentran dentro de los límites de tolerancia. ADA también es útil cuando se quieren sustituir los compresores viejos por otros nuevos. De esta forma es posible corregir las potencias de las unidades en caso de que no sean correctas, mejorar el comportamiento funcional de los compresores (sobre todo en carga parcial) y planificar un sistema superior de control optimizado.

d) Modificación de las condiciones de uso del aire comprimido

Si las condiciones de servicio cambian, también conviene consultar a un experto. En muchas ocasiones se puede reducir buena parte de los costes eligiendo una tecnología de tratamiento adecuada o ajustando la presión correctamente.

3. Información del usuario

a) Plano de distribución

Como orientación general, se necesita un plano de distribución de la empresa (**imagen 3**) que muestre la tubería principal, las tuberías de enlace y los puntos de alimentación de la estación de aire

comprimido. Además, debe contener datos sobre las dimensiones y el material de las tuberías, sobre los puntos de mayor consumo y sobre las tomas de aire que exigen condiciones especiales de presión o de calidad.

b) Aplicaciones del aire comprimido

Dado que el aire comprimido es una fuente de energía muy versátil, es imprescindible saber para qué se va a utilizar: ¿como aire de control, para el recubrimiento de superficies, en herramientas rotatorias, para tareas de limpieza, como aire de procesos...?

c) Compresores instalados

Además del modelo y el tipo de compresores instalados, deben indicarse sus datos técnicos, como la presión de servicio, el flujo volumétrico, la potencia que consumen, el tipo de refrigeración y, en su caso, el modo de aprovechamiento del calor generado.

d) Tratamiento del aire comprimido

Por lo que respecta al tratamiento del aire, es importante mencionar si el procedimiento es centralizado o descentralizado y qué clases de calidad ►

Análisis de la demanda de aire (ADA): cálculo de la situación real

se requieren. Por supuesto, también en este caso deben indicarse los datos técnicos de los componentes. Un diagrama de flujo puede servir como guía general (**imagen 4, pág. 30**).

e) Control y monitorización de la instalación

En la rentabilidad de la estación no solo influyen enormemente las características de cada uno de los compresores, sino también la interacción de todos ellos, por lo que no puede faltar una descripción del sistema de control y monitorización.

4. Reunión entre el usuario y el especialista en aire comprimido

Una vez recabados todos los datos anteriores, el especialista en aire comprimido debe reunirse con el usuario para que este le explique el contenido de toda la documentación y para hablar sobre los problemas que presenta el suministro de aire comprimido. Algunos de esos problemas pueden ser, por ejemplo, un nivel de presión demasiado bajo u oscilante, una calidad insuficiente del aire, un mal nivel de carga de los compresores o problemas con el sistema de refrigeración.

5. Visita del sistema de aire comprimido

Una visita al sistema suele aclarar muchas dudas. En este caso, se recomienda empezar por la zona más problemática, es decir, aquella donde pueda haber grandes pérdidas de presión o una mala calidad del aire (**imagen 5**). Por lo general, los puntos más conflictivos son los puntos de toma de la red.

a) Mangueras de conexión, reductores de presión, separadores de agua

Suelen ser las mangueras de conexión de los consumidores las que presentan más fugas. Por esta razón, debe comprobarse que se encuentran en buen estado y que no pierden aire. Si hay reductores de presión, también es preciso revisar el ajuste (presión de entrada y de salida) en condiciones de

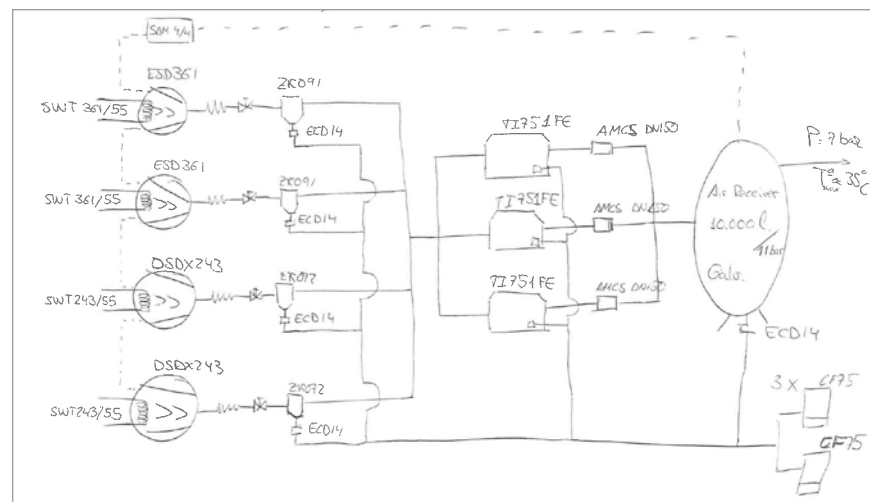


Imagen 4: Diagrama de flujo dibujado a mano de una estación de aire comprimido.

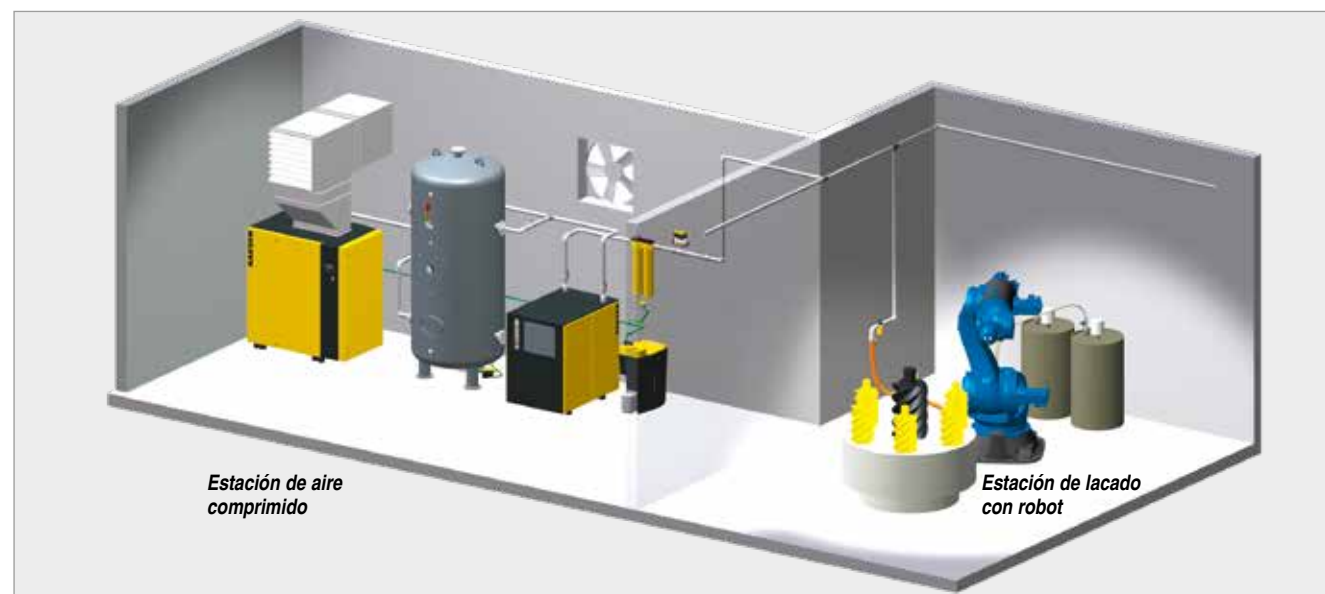


Imagen 5: Visita del sistema de aire comprimido para aclarar dudas.



Imagen 6: Unidad de mantenimiento con reductor de presión.



Imagen 7: Control de humedad en la tubería de salida de aire comprimido.

carga (**imagen 6**). Asimismo, deben inspeccionarse los separadores de agua instalados delante de los reductores de presión para detectar la presencia de líquidos e impurezas. Lo mismo se aplica a las bajantes verticales (**imagen 7**).

b) Dispositivos de cierre

El estado de las conducciones que salen de la red principal influye notablemente en la eficiencia del sistema. Uno de los puntos clave son los dispositivos de cierre. Conviene saber si se trata de válvulas de cierre o de llaves de bola de apertura total, que facilitan el flujo, o si son llaves de paso de agua o válvulas angulares que obstaculizan el caudal.

c) Red principal

En este caso, lo más importante es detectar los estrechamientos responsables de las bajadas de presión.

d) Sistema de tratamiento del aire comprimido

Los criterios de comprobación más importantes en este caso son el punto

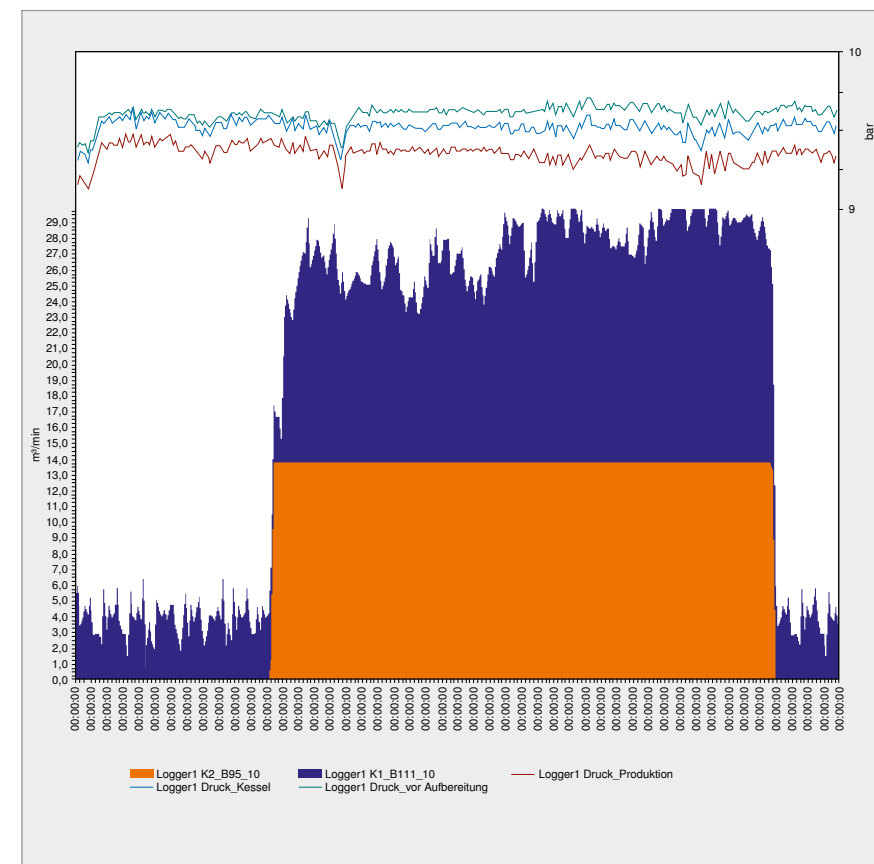


Imagen 8: Gráfico de medición de presión y consumo de aire comprimido de una empresa industrial.

de rocío alcanzado (sequedad del aire) y la presión diferencial que se produce en cada caso. Dependiendo de la aplicación, puede que sea necesario hacer otros controles de calidad.

e) Estación de aire comprimido

Por supuesto, la estación de aire comprimido propiamente dicha también puede presentar importantes deficiencias. Debe examinarse a fondo la instalación de las máquinas, el sistema de ventilación, la refrigeración y el trazado de las tuberías. Además, hay que determinar la presión diferencial total de los compresores, el tamaño de los depósitos de aire comprimido y el punto de medición desde el cual se controlan 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 es necesario medir la presión antes y después del tratamiento y 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 analiza el funcionamiento de la estación de aire comprimido y de todo el sistema durante un mínimo de 10 días con la ayuda de registradores de datos modernos. Estos registradores graban los valores de medición más relevantes y los transmiten a un ordenador que elabora un diagrama detallado de consumo (**imagen 8**). Así es posible reconocer las caídas de presión, las oscilaciones de consumo, las fases de marcha en vacío, los periodos de parada y de marcha de los compresores y el reparto de la carga entre las distintas unidades dependiendo de sus potencias y del consumo. Para completar la información, durante la medición se detectan también las fugas. Este proceso se describe en el **capítulo 10, págs. 26-27** y requiere, entre otras cosas, cerrar selectivamente determinados tramos de la red durante el fin de semana.

Cálculo de la solución más económica

Las empresas industriales europeas pueden reducir en más de un 30 % los costes medios de la producción de aire comprimido con solo optimizar sus sistemas neumáticos. La mayor parte de estos costes, entre un 70 y un 90 %, es consecuencia directa del consumo energético. En vista de la evolución de los precios de la energía, cada vez es más importante para el usuario encontrar la solución de aire comprimido más eficiente.

El sistema de ahorro energético KAESER Energy Saving System (KESS) permite determinar rápidamente, de entre varias soluciones posibles, cuál es la más adecuada para las necesidades del usuario con el fin de optimizar el suministro de aire comprimido. En los proyectos de nueva planta, el cálculo se basa en los datos obtenidos mediante el formulario correspondiente. En el caso de las estaciones ya existentes, el sistema de análisis de la demanda de aire (ADA) facilita un informe sobre su funcionamiento característico que sirve de base para el mismo cálculo (véase la pág. 31, imagen 8).

1. Cálculo asistido por ordenador

Para optimizar una estación ya existente, se introducen en el programa los datos técnicos de los compresores instalados y de las posibles variantes nuevas. Con esa información, el sistema KESS determina cuál es la variante óptima y las posibilidades de reducción de costes. Pero no solo se calcula el consumo energético puntual con una demanda de aire concreta y unas pérdidas determinadas, sino que también se obtiene una imagen precisa del rendimiento específico de la estación de compresores durante todo su tiempo de servicio (imagen 1). De esta manera, es posible detectar y eliminar de antemano los puntos débiles en las fases de carga parcial. El resultado es un informe claro 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 perfectamente coordinados entre sí. Por regla general, se trata de compresores grandes de carga base y de

reserva que se combinan con máquinas más pequeñas de carga punta. El controlador maestro es el responsable de que se reparta equitativamente el consumo específico de potencia. Para ello, debe ser capaz de elegir automáticamente en cada momento la mejor combinación de compresores de carga base y de carga punta, optimizada energéticamente para un máximo de 16 compresores dentro de un margen mínimo de variación de la presión por encima de la presión nominal y sin caer por debajo de ella. Los sistemas de control inteligentes como el SIGMA AIR MANAGER 4.0 cumplen este requisito. Este controlador puede

intercambiar datos con compresores y otros componentes, como secadores o purgadores de condensado, a través de una red específica de KAESER. Además, puede conectarse a una central de mando para transmitirle todos los datos de servicio.

3. Optimización constructiva

La planificación y la modernización de una estación de compresores deben adaptarse al máximo al espacio disponible. Los sistemas modernos de planificación, como los que usa KAESER, son de gran ayuda. No solo incluyen planos y esquemas TI (tuberías e instrumentación), sino también

diseños y animaciones por ordenador en 3D. Gracias a ello es posible, por ejemplo, utilizar un sistema económico de refrigeración por aire aunque se disponga de poco espacio, lo que ahorra entre un 30 y un 40 % de los costes en comparación con la refrigeración por agua (imágenes 2a a 2c).

4. Optimización del funcionamiento y control de gestión del aire comprimido

Para asegurar la rentabilidad del suministro de aire comprimido a largo plazo, no solo se debe conseguir una buena relación entre los costes y el rendimiento, sino también garantizar la transparencia necesaria para un buen control de la estación. La solución es el sistema de regulación de compresores SIGMA CONTROL, un PC industrial con cinco modos de control programados que permite recopilar datos y transmitirlos a una red. Como sistema de regulación superior se utiliza otro PC industrial, el ya mencionado SIGMA AIR MANAGER 4.0 (diagrama de las páginas 18-19). Además de regular y monitorizar la estación de forma óptima, se encarga de registrar todos los datos relevantes y, en su caso, de enviarlos a una central de mando. El SIGMA AIR MANAGER 4.0 utiliza internet para ofrecer en todo momento una visión general de todos los componentes de la estación y de sus datos de servicio más importantes. Gracias a este sistema es posible saber de un vistazo si la estación está funcionando sin problemas, si hay avisos de avería o de mantenimiento y cuál es la presión de servicio.

La norma DIN EN ISO 50001 establece la manera en que las empresas han de mejorar continua y sistemáticamente su eficiencia energética para reducir el impacto medioambiental y los costes. Los sistemas de gestión del aire comprimido como el SIGMA AIR MANAGER 4.0 le ayudan a confeccionar el informe de certificación de forma eficaz y en menos tiempo. Memorizan los datos de servicio de la estación de aire comprimido con total seguridad y, además de cifras clave, facilitan valoraciones y balances energéticos detallados.

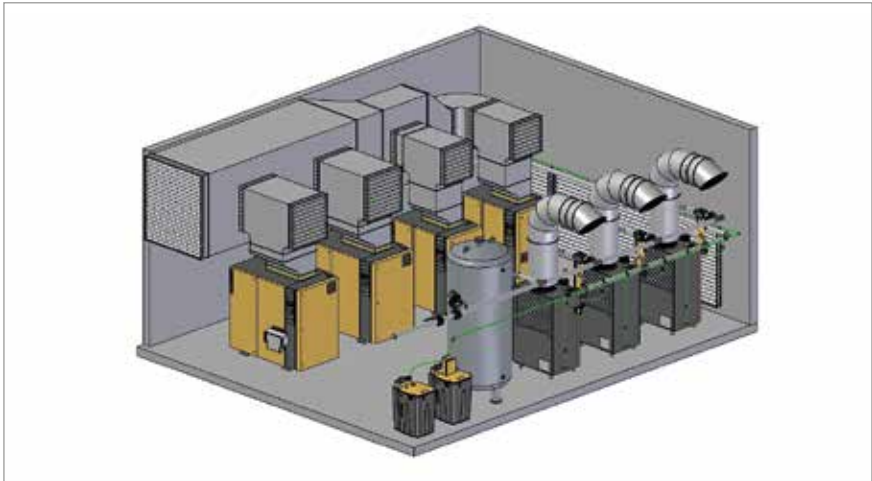


Imagen 2a: Planificación en 3D optimizada mediante CAD de una estación de aire comprimido.

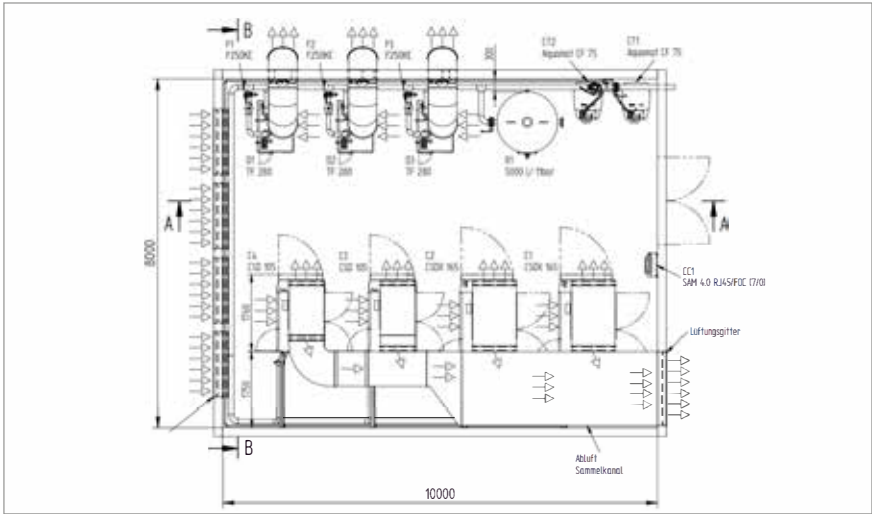


Imagen 2b: Plano de una estación de aire comprimido.

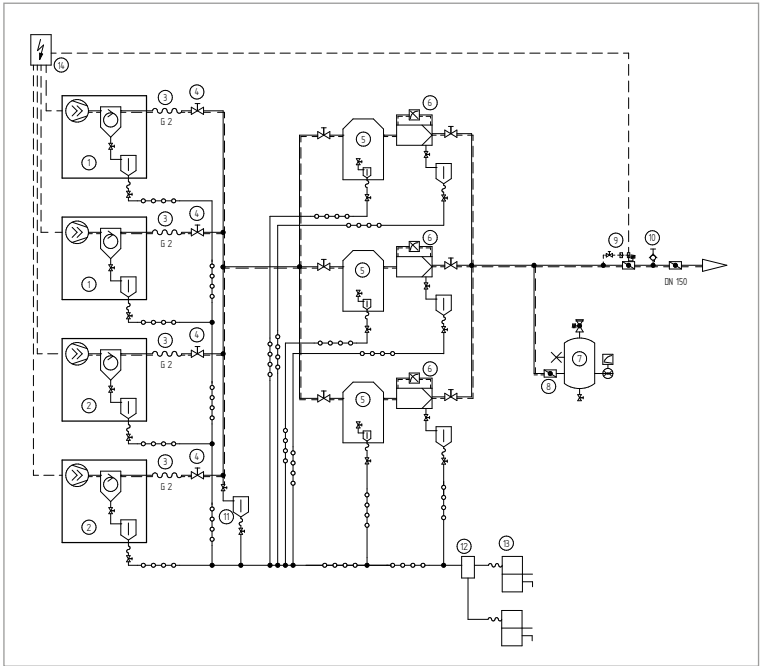


Imagen 2c: esquema TI de una estación de aire comprimido.

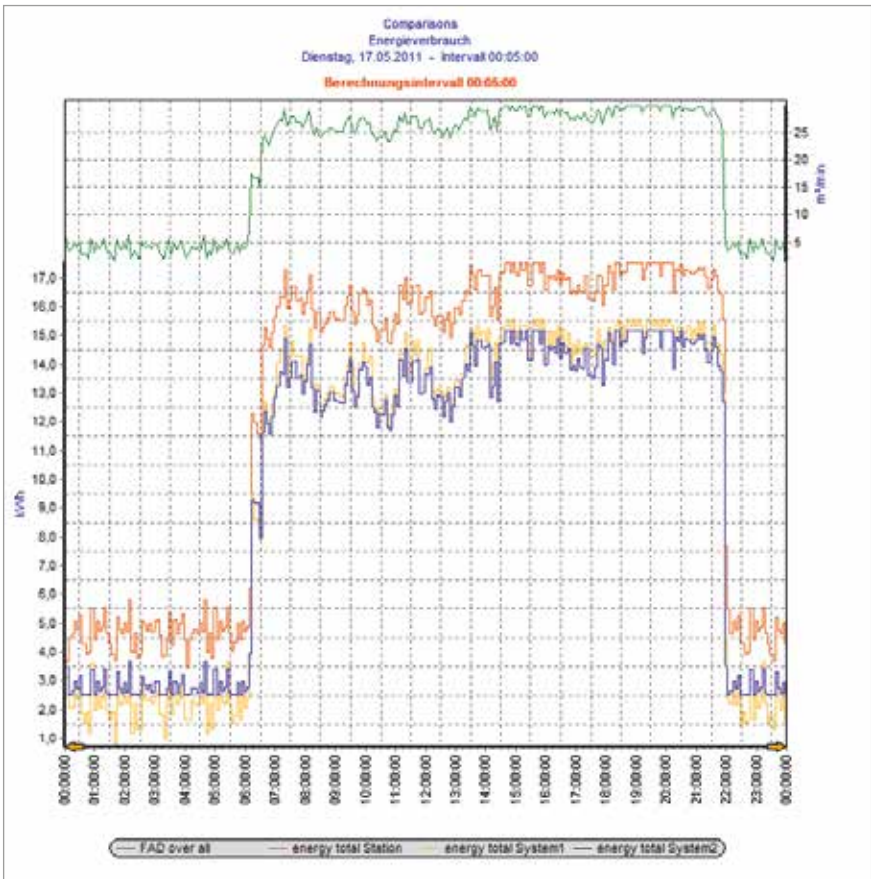


Imagen 1: Comparación del consumo energético de una estación de aire comprimido existente con las nuevas variantes en el transcurso de un día y dependiendo de la demanda de aire.

Refrigeración eficiente de la estación de aire comprimido

Los compresores transforman en calor la totalidad de la energía eléctrica que absorben. Incluso un compresor relativamente pequeño de 7,5 kW ya produce durante su funcionamiento calor suficiente como para calentar una casa unifamiliar. Por esta razón, una refrigeración eficiente de la estación de aire comprimido es imprescindible para garantizar su buen funcionamiento.

El calor generado por los compresores es un recurso ideal para ahorrar energía. Con los sistemas de recuperación del calor se puede aprovechar hasta el 96 % de la energía utilizada, lo que reduce enormemente los costes de producción del aire comprimido (véase el capítulo 8, pág. 22). Pero, además, las instalaciones dotadas de un sistema de recuperación del calor deben tener un buen sistema de refrigeración, con el que también se puede ahorrar mucho dinero: los costes de la refrigeración por aire pueden ser hasta un 30 % más bajos que los de la refrigeración por agua. Por eso, siempre que sea posible, es mejor escoger la refrigeración por aire.

1. El entorno de los compresores

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

El reglamento alemán acerca del uso de equipos de trabajo (regla 100-500 de la DGUV, BGR 500, apartado 3) dice lo siguiente: «Como norma general, la temperatura ambiente no debe superar los 40 °C para los compresores de aire estacionarios con cámaras de presión lubricadas por aceite y refrigeración por aire». Además, añade que «en el caso de los compresores de aire, las aberturas de aspiración deben estar dispuestas de manera que no puedan aspirarse sustancias peligrosas». Se trata de requisitos mínimos para reducir al máximo el riesgo de accidentes. Sin embargo, esto no basta para que el compresor funcione de manera eficiente y requiera poco mantenimiento.

1.2 La sala de compresores no es un trastero

En la sala de compresores no debe haber polvo, impurezas ni aparatos o herramientas innecesarios. Además, el suelo debe ser resistente

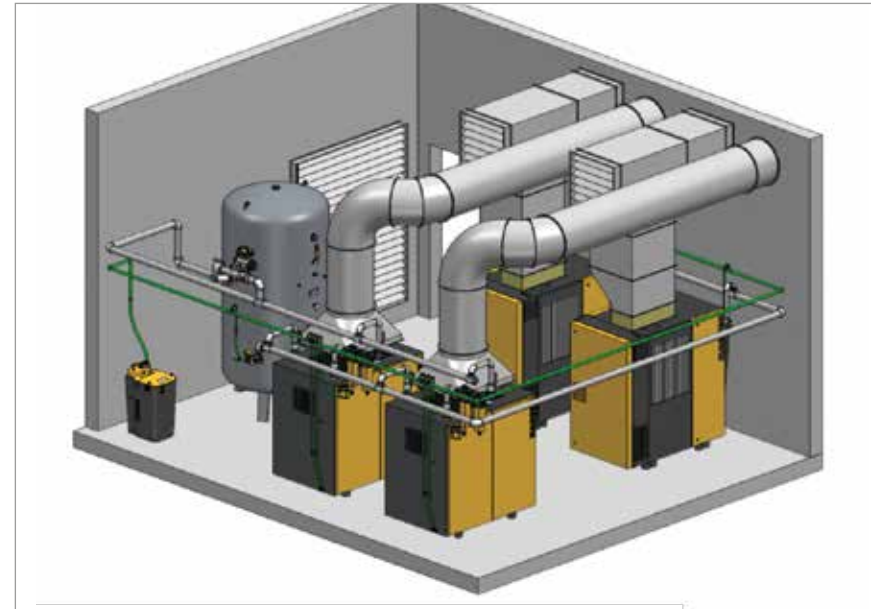


Imagen 1: Ejemplo de estación de aire comprimido con sistema de salida de aire y ventilación auxiliar controlada por termostato para los secadores frigoríficos.

a la abrasión siempre que sea posible. Si el aire de aspiración y de refrigeración proceden de un ambiente muy cargado de polvo, partículas de hollín o similares, es imprescindible llevar a cabo una filtración intensiva. Incluso en condiciones de servicio normales, el aire de aspiración y de refrigeración de los compresores debe purificarse con filtros.

1.3 Clima moderado

La temperatura también influye mucho en la fiabilidad y en la necesidad de mantenimiento de los compresores: el aire de aspiración y de refrigeración no debe estar ni demasiado frío (menos de +3 °C) ni demasiado caliente (más de +40 °C). En verano, la cara sur y, en ocasiones, la cara oeste de los edificios están más expuestas a la radiación solar, lo que puede hacer que el aire se caliente en exceso hasta una temperatura de más de 40 °C, incluso en latitudes con un clima templado. Por

eso, es preferible no situar las aberturas para el aire de aspiración y de refrigeración en lugares especialmente expuestos al sol. El tamaño de las aberturas dependerá de la potencia de los compresores y del tipo de ventilación.

2. Ventilación de la sala de compresores

Tanto los compresores refrigerados por aire como los refrigerados por agua necesitan una ventilación adecuada de la sala de compresores. Es imprescindible disipar el calor generado por la estación de compresores y por el motor de accionamiento eléctrico, que en conjunto representa en torno al 7 % de la potencia motriz del compresor.

3. Tipos de ventilación

3.1 Ventilación natural

El compresor aspira y calienta el aire de refrigeración, que a continuación, por efecto de la sobrepresión, sube y sale por una abertura locali-

zada en la parte superior de la sala (imagen 2). Sin embargo, son pocos los casos en los que el procedimiento es así de fácil, puesto que solo sirve para compresores de hasta 5,5 kW. Esta ventilación natural puede verse obstaculizada por factores tan simples como el sol o la presión del viento contra la abertura de salida de aire.

3.2 Ventilación artificial

Este método se basa en una corriente dirigida de aire de refrigeración. Para evitar temperaturas inferiores a +3 °C en los meses más fríos del año se utiliza un control por termostato, ya que las temperaturas demasiado bajas podrían afectar no solo al funcionamiento de los compresores, sino también a la evacuación y al tratamiento del condensado. El control por termostato es necesario porque en las salas de compresores con ventilación artificial hay cierta presión negativa que impide que el aire caliente vuelva a entrar en la sala. Hay dos opciones:

3.2.1 Ventilación con ventilador externo

En la abertura de salida de aire de la sala de compresores se instala un ventilador externo con regulación por termostato que aspira el aire calentado (imagen 3). Es importante que la abertura de salida (abajo a la derecha) sea lo suficientemente grande para que no haya demasiada presión negativa acompañada de un flujo de aire demasiado fuerte y ruidoso, lo que además afectaría a la refrigeración de la estación. El sistema de ventilación debe diseñarse de manera que el aumento de temperatura provocado por el calor de los compresores no supere los 10 K ni la temperatura ambiental máxima permitida. De lo contrario, podría producirse un cortocircuito térmico y los compresores se pararían.

3.2.2 Ventilación con canal de salida de aire

Los compresores de tornillo totalmente encapsulados permiten un sistema de ventilación casi perfecto mediante un canal de salida de aire: el compresor aspira el aire de refrigeración a través de una abertura y después expulsa el aire caliente a través de un canal que lo conduce directamente

al exterior de la sala de compresores (imagen 4). Este método tiene la ventaja de que se puede calentar mucho más la corriente de ventilación, hasta alcanzar un aumento de temperatura de unos 20 K, lo que reduce la cantidad necesaria de aire de refrigeración. Normalmente, los ventiladores instalados de serie en los compresores son suficientes para expulsar el aire, por lo que, al contrario de lo que sucede con un ventilador externo, no es necesario un consumo adicional de energía. Sin embargo, esto solo es posible si no se sobrepasa la presión residual de los ventiladores. Además, el canal de salida de aire debe estar equipado con una escotilla regulada por un termostato (imagen 5) con el fin de evitar el enfriamiento excesivo de la sala de compresores en invierno. Si además se instalan en la sala secadores refrigerados por aire, hay que procurar que la ventilación de unos no influya negativamente en la de los otros. Si la temperatura es superior a +25 °C, se recomienda además aumentar el caudal de aire de refrigeración mediante un ventilador auxiliar externo o mediante un sistema de salida de aire controlado por termostato para el secador frigorífico (imagen 1).

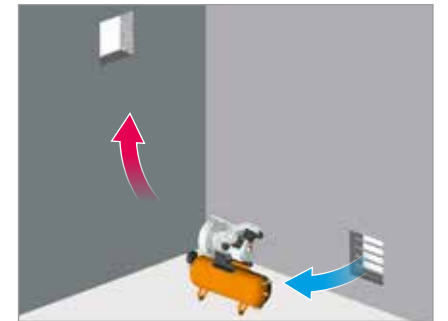


Imagen 2: Ventilación natural para unidades de hasta 5,5 kW.

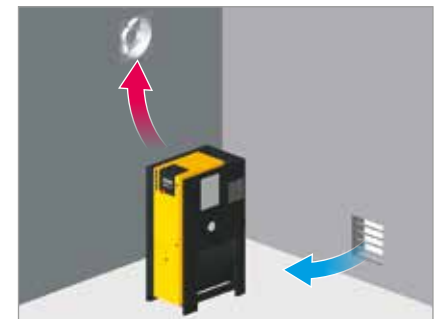


Imagen 3: Ventilación artificial con ventilador para unidades de 5,5 a 11 kW.

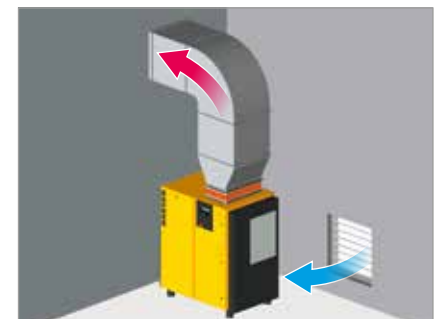


Imagen 4: Ventilación artificial con canal de salida de aire para unidades de más de 11 kW.

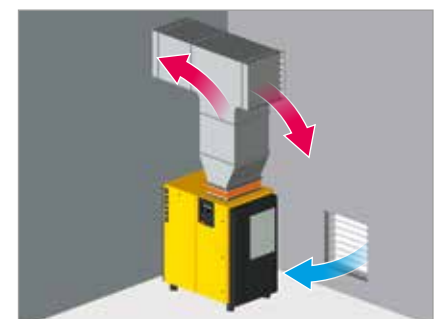


Imagen 5: Una escotilla regulada por termostato garantiza el equilibrio térmico.

Cómo mantener a largo plazo la fiabilidad y la optimización de los costes

En las páginas 24 a 27 hemos explicado cuáles son los puntos importantes a la hora de sanear o instalar una red de aire comprimido y cómo se planifica una estación de compresores eficiente. Sin embargo, planificar y ejecutar el proyecto pensando en los costes y en el consumo de energía es, como máximo, la mitad del trabajo. Para asegurar la rentabilidad del suministro de aire comprimido a largo plazo, es necesario garantizar ante todo el funcionamiento eficiente del sistema.

Buscar la máxima eficiencia en la producción de aire comprimido vale la pena por dos motivos: mejora la seguridad del suministro y reduce enormemente tanto los costes como el consumo de energía. El potencial es enorme: según un estudio, los compresores de aire europeos consumieron en el año 2020 133 000 millones de kWh, de los que al menos el 30 % podría haberse ahorrado (imagen 1).

1. ¿Qué se entiende por rentabilidad óptima?

La rentabilidad de un sistema de aire comprimido se refleja directamente en sus costes. El nivel óptimo que puede alcanzarse en cada caso depende de las condiciones de servicio y de producción. Los periodos de marcha de los compresores, el nivel de presión y otros parámetros comerciales son factores decisivos. Pongamos como ejemplo un sistema optimizado con

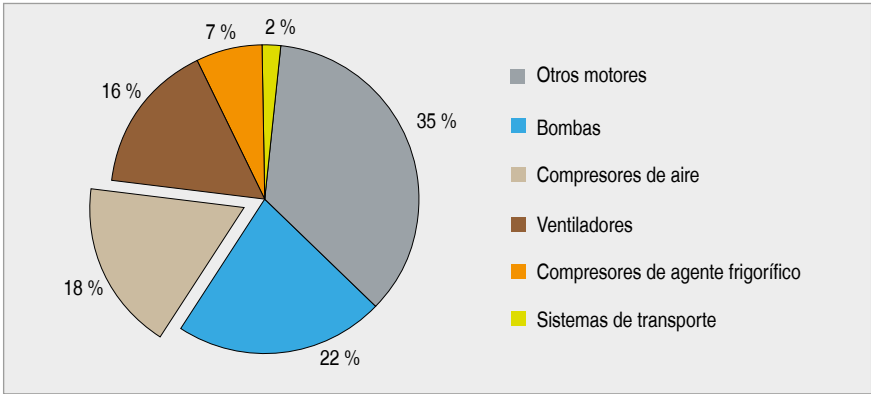


Imagen 1: Estimación del porcentaje que representan los compresores de aire en el consumo de energía de los accionamientos de uso industrial.

una estación de aire comprimido refrigerada por aire con estos datos: tiempo de funcionamiento 5 años, precio de la electricidad 15 céntimos por kWh, tipo de interés 6 %, 7 bar de sobrepresión de servicio, calidad del aire comprimido conforme a ISO 8573-1: polvo residual clase 1, agua residual clase 4, aceite

residual clase 1. Este ejemplo demuestra, entre otras cosas, que incluso en condiciones óptimas el consumo energético sigue suponiendo la mayor parte de los costes totales del aire comprimido, con casi un 70 % (imagen 2). Las particularidades más llamativas de las estaciones de aire comprimido instaladas en Alemania quedaron recogidas en un estudio de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Coburgo como parte de la iniciativa Druckluft Effizient (Aire Comprimido Eficiente) (imagen 3).

2. Rentabilidad a largo plazo

Para garantizar la rentabilidad de la producción de aire comprimido a largo plazo, hay que tener en cuenta algunos puntos importantes:

2.1 Mantenimiento adaptado a las necesidades

Los controladores internos como el SIGMA CONTROL 2 y los controladores maestros como el SIGMA AIR

MANAGER 4.0, ambos basados en un PC industrial, informan con precisión de los intervalos de mantenimiento de los componentes de la estación de aire comprimido, lo que permite llevar a cabo un mantenimiento preventivo y ajustado a las necesidades. El resultado: menos costes de mantenimiento, mayor rentabilidad y fiabilidad del sistema y, por lo tanto, también 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 acaba suponiendo un gasto mucho mayor que si se adquieren máquinas capaces de funcionar a una presión menor (por ejemplo, a 6 bar). Por esta razón, debería crearse una directiva para la compra de máquinas de producción que tenga en cuenta no solo la alimentación eléctrica, sino también la de aire comprimido.

2.3 Cambios en los requisitos de producción

2.3.1 Consumo de aire comprimido

a) Modificación de la producción

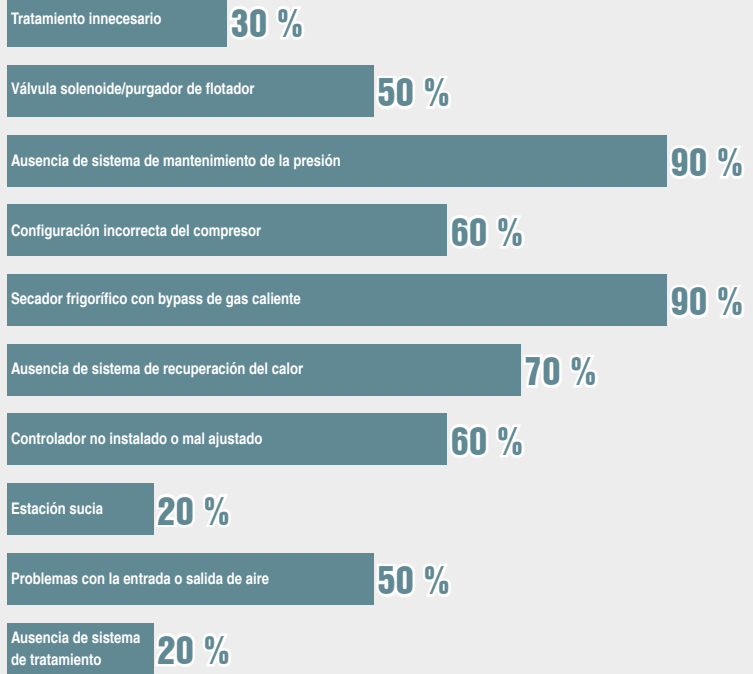
En muchos lugares son habituales las oscilaciones de consumo, un hecho al que con frecuencia no se le da la importancia que merece. Por eso, puede suceder que, tras modificar la producción, los compresores funcionen de repente con muy poca carga en un turno, pero que en otro la demanda sea tan grande que se agoten incluso las reservas de seguridad. Por esta razón, el suministro de aire comprimido debe adaptarse siempre a los cambios estructurales de la producción.

b) Ampliación de la producción

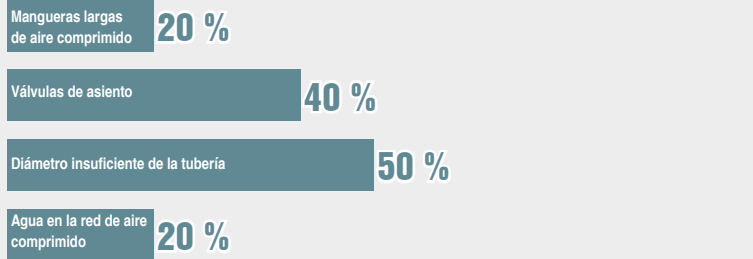
En caso de ampliación, no solo es necesario aumentar la potencia de los compresores, sino también la capacidad de las tuberías y de los aparatos de tratamiento del aire comprimido. Si se va a ampliar la capacidad de pro-

Particularidades de estaciones de aire comprimido y salas de producción

Estación de aire comprimido



Producción

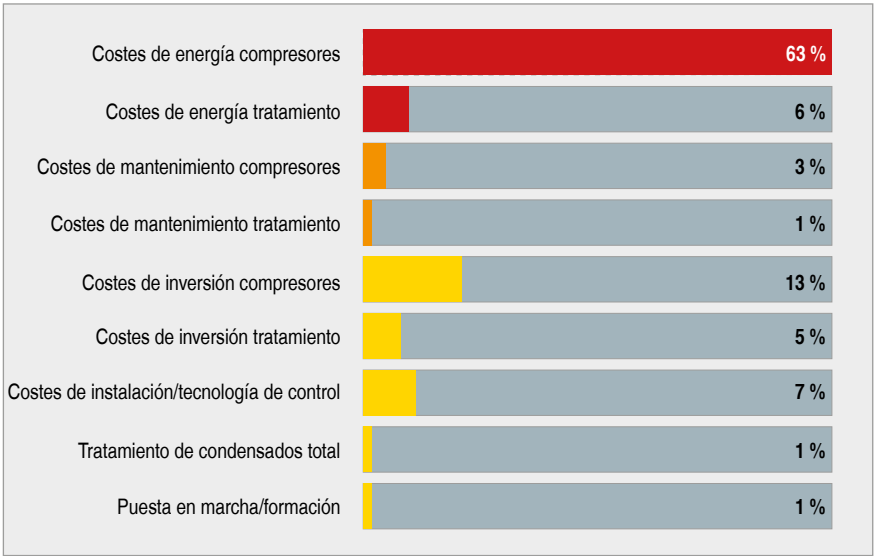


Empresas analizadas (en %)

Imagen 3: Resultados de las auditorías de aire comprimido realizadas por KAESER KOMPRESSOREN como parte de un estudio de la Universidad de Ciencias Aplicadas de Coburgo para la campaña Druckluft Effizient (Aire Comprimido Eficiente).

ducción reformando un sistema ya existente, es recomendable 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.

Imagen 2: Estructura de los costes de un sistema de aire comprimido optimizado.



Cómo mantener a largo plazo la fiabilidad y la optimización de los costes

2.3.2 Seguridad del suministro

Es habitual equipar las estaciones de aire comprimido con un compresor de reserva. En cambio, en el tratamiento del aire comprimido se suele prescindir de las reservas de seguridad. Si aumenta el consumo, el compresor de reserva se pondrá en marcha, pero empeorará la calidad del aire comprimido por la falta de capacidad de tratamiento. Por eso, por cada compresor de reserva debe haber una unidad de tratamiento (secador/filtro).



Imagen 4: Localización de fugas con ultrasonidos.

2.3.3 Cambios en la calidad del aire

Para aquellos casos en los que se necesite un aire comprimido de mayor calidad, lo primero es determinar si esto afecta a toda la producción o solo a una parte. En el primer caso, no basta con cambiar o mejorar el equipo central de tratamiento del aire, sino que también es preciso limpiar o sustituir las tuberías que hasta ese momento han conducido aire de menor calidad. En el segundo caso, es conveniente montar un sistema descentralizado de tratamiento capaz de suministrar la calidad deseada. Para garantizar dicha calidad, debe instalarse un dispositivo que limite el flujo. De lo contrario, el sistema de trata-

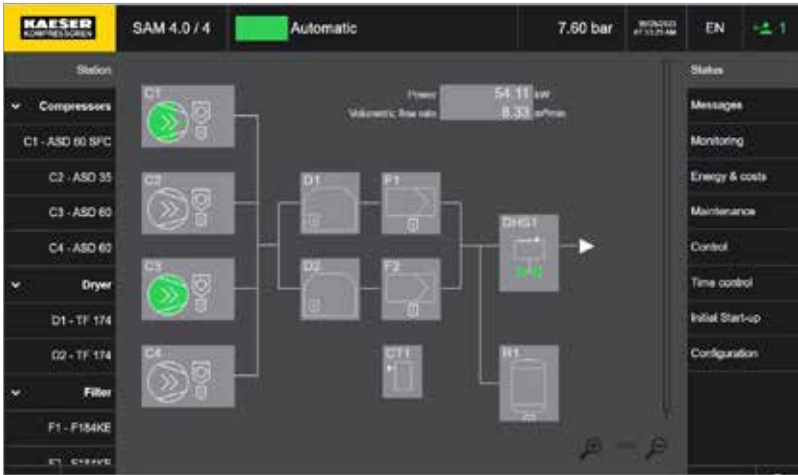


Imagen 5a: Sistema de gestión: vista general de la estación y su estado.

miento podría sufrir una sobrecarga, puesto que lógicamente no está diseñado para el caudal máximo que pueden llegar a alcanzar los compresores.

2.4 Control de fugas

Por muy bien mantenida que esté una red de aire comprimido, siempre pueden aparecer fugas, que en ocasiones producen

grandes pérdidas de energía. La causa principal de las fugas es el desgaste de las herramientas, las mangueras de conexión y otros componentes de la máquina. Por eso, es importante detectar cualquier daño y subsanarlo. Además, es aconsejable medir periódicamente el alcance total de las fugas, por ejemplo, con el SIGMA AIR MANAGER 4.0. Si se registra un aumento de las pérdidas



Imagen 5b: Gráfico de flujo volumétrico y presión con monitorización de la calidad de la presión.



Imagen 5c: Monitorización: potencia específica.



Imagen 5d: Comparación del consumo de energía y los costes en distintos periodos.



Imagen 5e: Vista general del mantenimiento.

de aire, deben localizarse y repararse las fugas (imagen 4).

3. La gestión correcta de los costes es una garantía de ahorro

Los datos analíticos recabados durante la planificación, una vez actualizados, también son interesantes para el servicio posterior. Para recabarlos, ya no es necesario hacer análisis independientes; los sistemas como el SIGMA AIR MANAGER 4.0 se encargan de esa tarea. La información obtenida puede utilizarse como base para las auditorías de aire comprimido y para una gestión eficaz de los costes (imágenes 5a a 5e). Cuantos más usuarios mejoren la transparencia de sus costes de aire comprimido, aprovechen su potencial de ahorro y antepongan la eficiencia energética a la hora de adquirir componentes neumáticos, más cerca estaremos de reducir el consumo energético en un 30 % o más, con todas las consecuencias positivas que esto tiene para las cuentas de las empresas y para el medioambiente.

Consejos prácticos

Consejo 1-7

40-51

Consejo 1

Presión óptima para ahorrar

La rentabilidad de un sistema de aire comprimido depende también de que la sobrepresión de servicio sea la correcta. A este respecto, incluso las medidas más sencillas pueden marcar una gran diferencia.

Cuando no se están utilizando las herramientas neumáticas, es habitual que estas tengan 6,0 bar de presión, y la unidad de mantenimiento, 6,1 bar. Sin embargo, esta presión no es la misma que cuando se consume aire.

¿Qué hacer si la herramienta pierde presión?

Muchas veces se aprecia una enorme caída de presión cuando la herramienta está en funcionamiento. En el ejemplo que presentamos aquí, ese descenso es de 2 bar, lo que significa que la herramienta apenas llega al 54 % de su potencia.

Por lo general, las causas pueden remediarse fácilmente:

a) Sección de conexión demasiado pequeña: Utilice un acoplamiento rápido con una sección más grande.

b) Reductor de presión mal ajustado: Ábralo más.

c) Presión del sistema demasiado baja: Aumente la presión en la red principal o instale tuberías con una sección más grande.

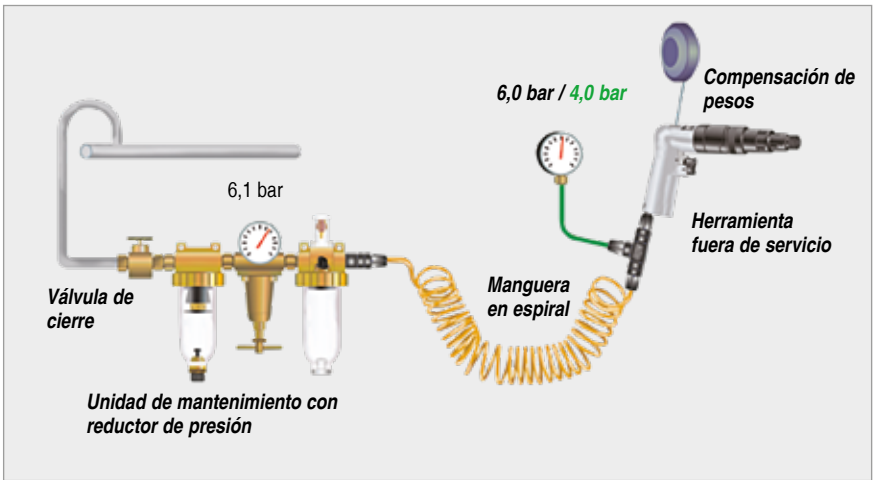
d) Manguera en espiral demasiado pequeña: Utilice otra más grande o, mejor aún, una manguera lisa.

e) Caída de presión en el separador de agua descentralizado: Seque el aire comprimido de manera centralizada (no se necesita separador).

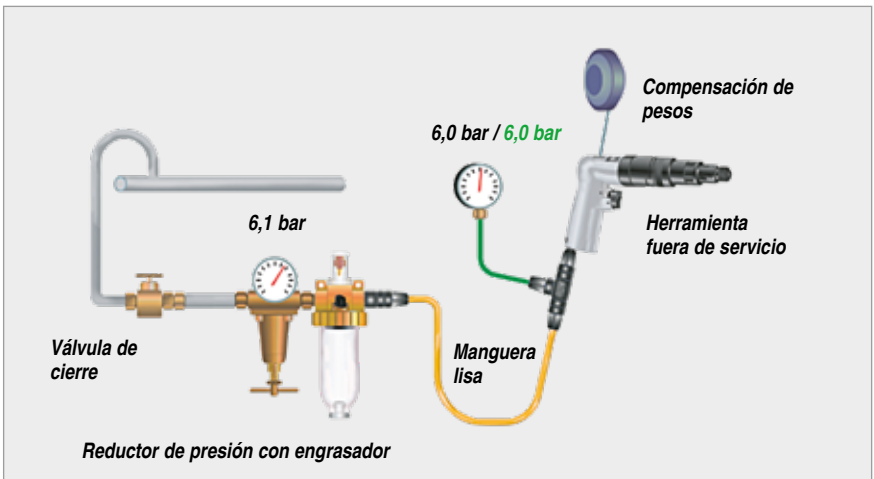
Estas medidas permiten alcanzar la presión óptima en la herramienta (en este caso, 6 bar) para aprovechar el 100 % de la potencia.

El secreto para ahorrar energía

Los reductores de presión influyen en la eficiencia de la estación de aire comprimido mucho más de lo que se piensa. Pongamos como ejemplo un sistema con una presión de servicio de



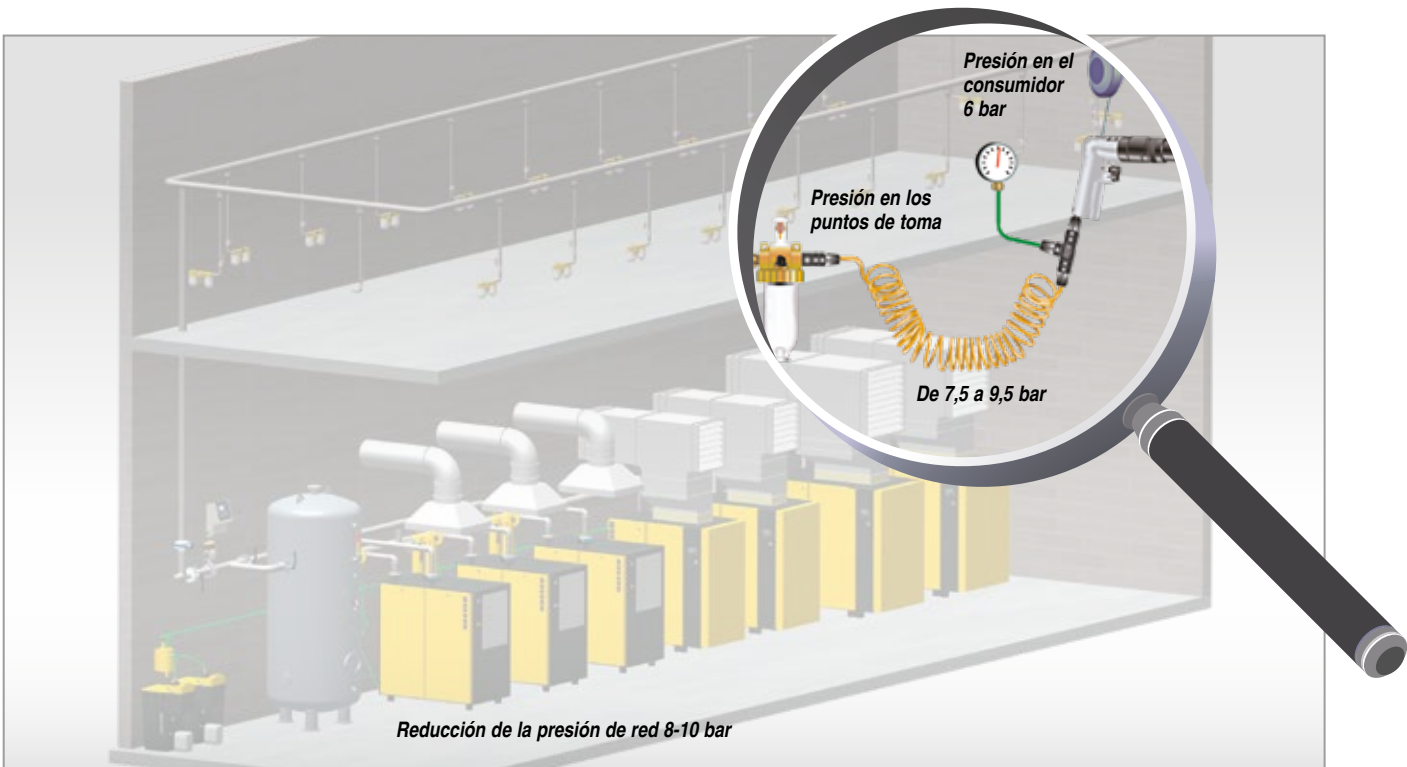
Conexión de la herramienta con manguera en espiral: presión de 6,0 bar cuando no se está consumiendo aire comprimido. 4,0 bar con la herramienta en marcha = caída de presión de 2 bar durante el funcionamiento: ¡solo el 54 % de potencia!



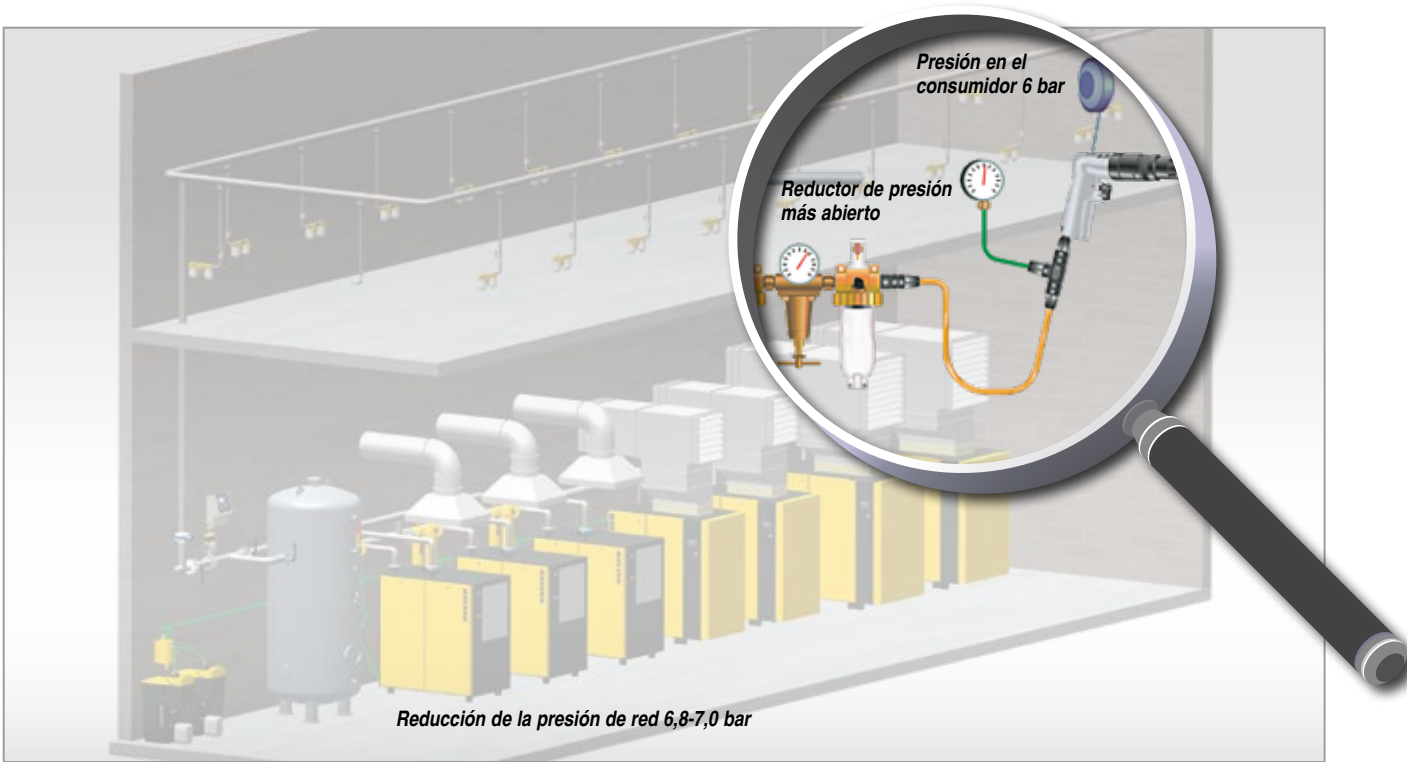
Los separadores de agua y las mangueras en espiral disparan el consumo de energía. Es mejor secar el aire comprimido de manera centralizada y utilizar mangueras lisas: 6,0 bar con la herramienta en funcionamiento, 100 % de potencia.

entre 8 y 10 bar. Los 7,5-9,5 bar de presión que hay en los puntos de toma se reducen hasta 6 bar utilizando reductores de presión. Para ahorrar energía, la presión del sistema se reduce hasta 6,8-7 bar. De esta manera, en los puntos de toma de la red hay 6,1 bar, mientras que en las herramientas hay solo 4 bar. Consecuencia: más tiempo de trabajo, resultados deficientes

debido a la presión insuficiente en la herramienta y periodos de marcha más largos de los compresores. Para conseguir fácilmente el ahorro deseado, no solo hay que reducir la presión del sistema, sino también utilizar mangueras lisas, suprimir los separadores de agua innecesarios y abrir más los reductores de presión que hay en los consumidores.



Malgasto de energía: excederse en la compresión para luego reducir la presión en el consumidor.



Es mejor rebajar la presión del sistema y abrir más el reductor de presión.

Presión correcta en la conexión de aire

Bien es verdad que la presión de la estación de compresores siempre es la correcta, pero a los consumidores de aire solo les llega una pequeña parte. ¿A qué se debe?

En más de una ocasión, los culpables son las mangueras, los acoplamientos rápidos o los reductores de presión, aunque a menudo la presión ya es demasiado baja en el punto de toma de la red. Así, puede suceder que de los 6,8-7 bar originales, a los consumidores les lleguen escasamente 5.

La solución suele parecer evidente: «Pues aumentamos 1 bar la presión de la estación y arreglado». Pero ahí está el gran fallo: por cada bar que aumenta la presión, la estación de compresores no solo consume un 6 % más de energía, sino que también se dispara la tasa de fugas. Por eso, es más que aconsejable averiguar las causas y buscar una solución.

La red de tuberías como origen de los fallos

Si la presión que hay justo después del compresor es correcta y los componentes de tratamiento conectados a continuación no la reducen en exceso, el fallo solo puede estar en la red de tuberías, que se divide en tres tramos: tubería principal, tubería de distribución y tubería de conexión (**imagen 1**). En un sistema de aire comprimido optimi-

zado, son justificables estas caídas de presión:

Tubería principal (1):	0,03 bar
Tubería de distribución (2):	0,03 bar
Tubería de conexión (3):	0,04 bar
Además de:	
Secador (4):	0,2 bar
Unidad manten. / manguera (5):	0,5 bar
Total:	0,8 bar

Eliminación de los cuellos de botella

Muchas veces, al analizar el problema más de cerca, resulta que las tuberías principales y las de distribución son lo bastante grandes, pero las de conexión son demasiado estrechas. El ancho de estas tuberías no debe ser inferior a DN 25 (1"). Para calcular la sección exacta, KAESER KOMPRESSOREN ofrece esta herramienta en su página web:

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

La importancia de una conexión correcta

Para evitar que la humedad cause averías y daños, es recomendable que la unión entre la tubería de distribución

y la tubería de conexión tenga forma de cuello de cisne para favorecer el flujo (**imagen 2**). Conectar la tubería directamente hacia abajo solo es una opción si no existe ninguna posibilidad de que se forme condensación en ella (**imagen 3**).

En la **página 42-43** puede ver cómo es una conexión optimizada con una caída de presión no superior a 1 bar entre la salida de aire comprimido del compresor y el consumidor de aire.

Toma repentina de aire

En el caso de los consumidores que no están continuamente en funcionamiento, pero que de repente necesitan un gran caudal de aire comprimido, puede utilizarse un depósito de aire descentralizado a modo de reserva para compensar la caída de presión momentánea (**imagen 4**). KAESER KOMPRESSOREN también tiene una herramienta para ello en su página web: <http://www.kaeser.de/service/wissen/rechner/behaeltergroessen/>

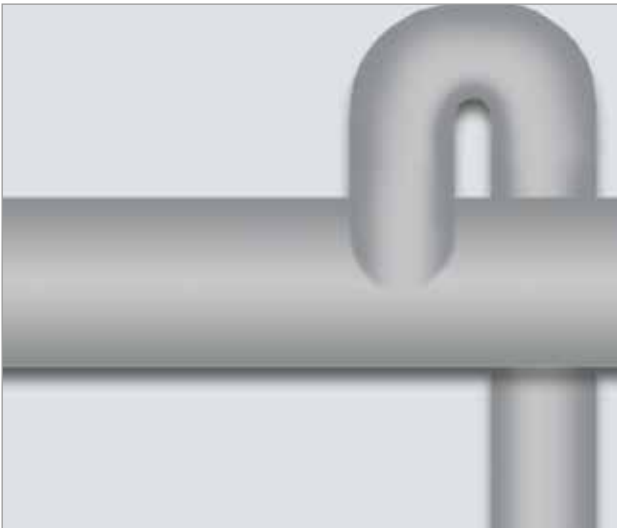


Imagen 2: Cuello de cisne.



Imagen 3: Salida de la tubería directamente hacia abajo.



Imagen 1: Componentes 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).



Imagen 4: Depósito de aire comprimido de reserva.

Consejo 3

Distribución eficiente del aire comprimido

Las condiciones de servicio son las que determinan cuál de los tres sistemas de distribución del aire comprimido es el más adecuado: tubería secundaria, tubería anular o red. Para que utilizar aire comprimido resulte rentable, no solo hay que reducir el consumo de energía durante la producción, sino también diseñar un sistema de distribución lo más eficiente posible. Explicamos cómo.

Tubería secundaria

Instalar una tubería secundaria con salidas hacia los distintos consumidores de aire (**imagen 1**) es relativamente sencillo. No se necesita una tubería muy larga, pero sí es necesario que tenga suficiente capacidad de transporte como para cubrir la demanda total de aire.

Esto supone que su sección debe ser mucho mayor que la de una tubería anular o en red. Además, las tuberías de conexión a los consumidores tienen que ser más largas debido a que la distancia es mayor, por lo que también deben ser más grandes. Por otro lado, como no existe la posibilidad de cerrar determinados tramos de tubería para hacer trabajos de ampliación o saneamiento, este tipo de sistema solo suele ser adecuado para pequeñas empresas.

Tubería anular

Las tuberías anulares (**imagen 2**) son más difíciles de instalar que las secundarias, pero ofrecen una gran ventaja: si todos los consumidores tienen la misma demanda de aire comprimido, la longitud y el volumen de las tuberías pueden reducirse a la mitad, por lo que con una sección transversal más pequeña se consigue la misma capacidad de transporte. Las tuberías de conexión cortas rara vez presentan un diámetro superior a DN 25. Si se instalan suficientes dispositivos de cierre, es posible bloquear determinados tramos de tubería para realizar trabajos de saneamiento y ampliación con el sistema en marcha.

Red

Para las empresas de gran tamaño, es preferible apostar por una red de tuberías, que consiste en una tubería anular a la que se añaden conexiones longitudinales y transversales (mallas)

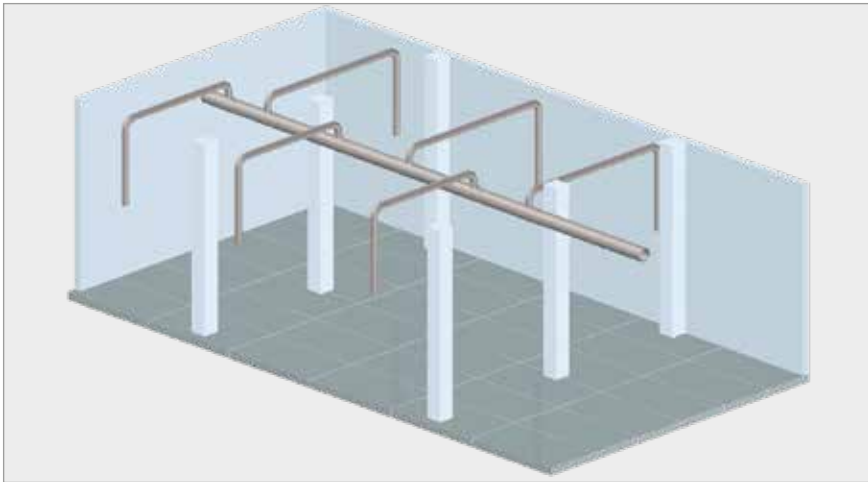


Imagen 1: Tubería secundaria de aire comprimido.

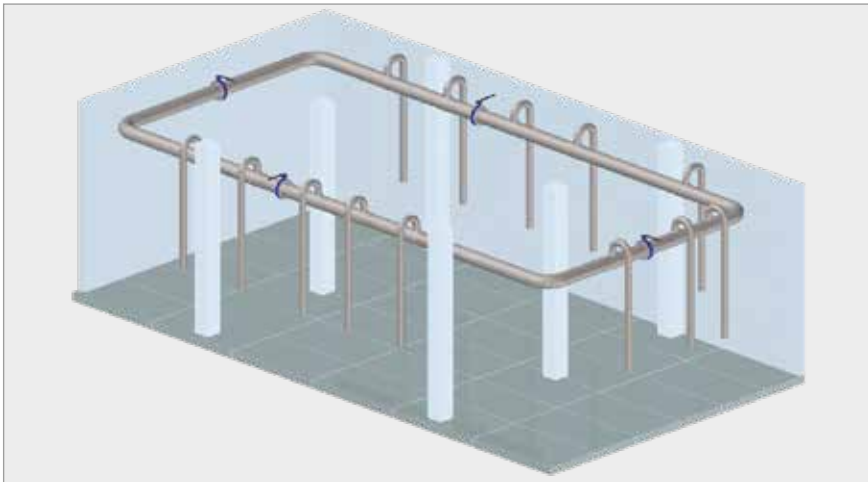


Imagen 2: Tubería anular de aire comprimido.

para formar una red (**imagen 3**). Aunque este sistema de tuberías es el más difícil de instalar, las ventajas lo compensan: la estructura en red permite suministrar aire comprimido de manera fiable y eficiente a grandes naves industriales sin tener que utilizar tuberías exageradamente grandes. Al revés: gracias al diseño en red, sus dimensiones pueden ser relativamente reducidas, al igual que con las tuberías anulares para pequeñas y medianas empresas. En caso necesario, este

sistema también puede bloquearse por tramos utilizando dispositivos de cierre.

Diseño de la tubería principal

La tubería principal del sistema de aire comprimido conecta las tuberías de distribución de las distintas áreas operativas (edificios) con la estación de aire comprimido (suministro).

El factor más importante que hay que tener en cuenta a la hora de dimensionar la tubería principal es el caudal total de los compresores utilizados,

que es lo que determina el tamaño y la capacidad de la tubería. La pérdida de presión no debe superar los 0,03 bar.

Suministro con una estación

Si una estación de aire comprimido abastece a varias áreas operativas (naves de producción), la tubería principal de cada una de esas áreas debe estar pensada para su respectiva demanda máxima de aire (pérdida de presión inferior a 0,03 bar). Agrupar las tuberías de la estación de aire comprimido en un colector tiene la ventaja de que se puede interrumpir fácilmente el suministro de aire de áreas enteras en caso necesario. Además, instalando un caudalímetro, es fácil determinar el consumo de aire de cada zona (**imagen 4**).

Suministro con varias estaciones

Si dos o más estaciones de aire comprimido alimentan un sistema extenso de tuberías principales, estas deben tener el tamaño adecuado para que el caudal máximo de la estación más grande llegue a todas las áreas operativas. En este caso, la pérdida de presión entre las distintas estaciones tampoco debe superar los 0,03 bar. De lo contrario, se necesitarían costosos sistemas de regulación (**imagen 5**).

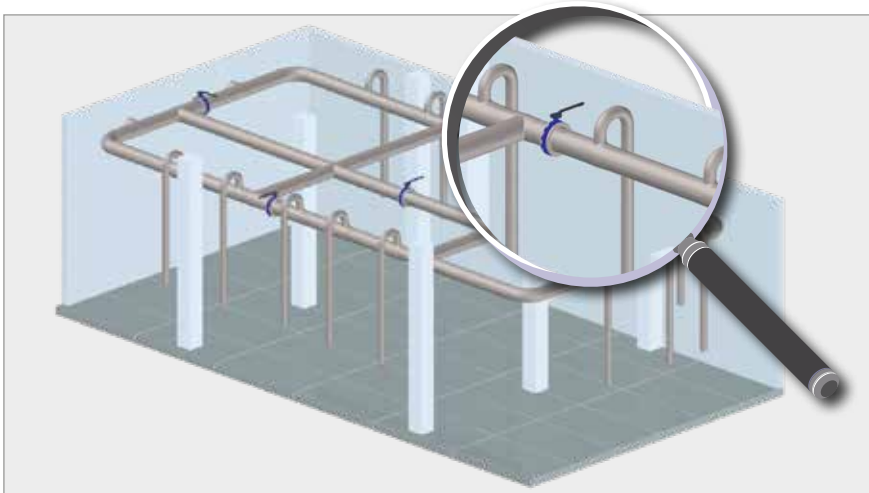


Imagen 3: Red de tuberías de aire comprimido con mallas.

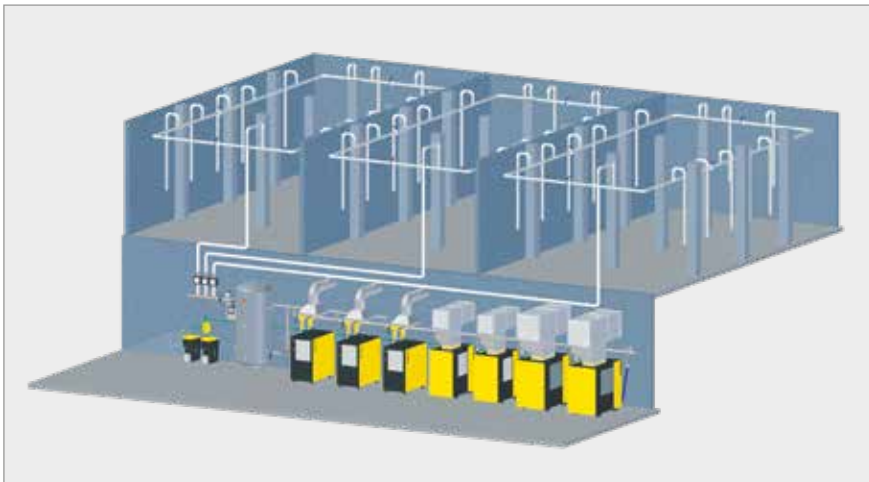


Imagen 4: Suministro de aire comprimido con una estación central para varias áreas de producción.

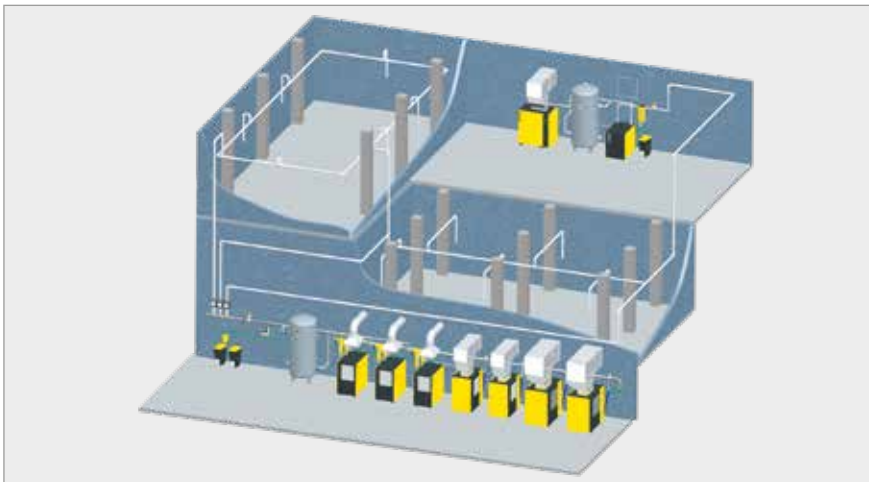


Imagen 5: Suministro de aire comprimido con dos estaciones y regulación centralizada para varias áreas de producción.

Tuberías de la estación de aire comprimido

Además de para distribuir el aire comprimido por toda la fábrica, las tuberías sirven para conectar los compresores y los demás componentes de la estación al sistema general. Para garantizar la máxima eficiencia y seguridad de servicio también en este caso, deben tenerse en cuenta algunos puntos importantes a la hora de hacer la instalación.

Como norma general, las tuberías de la estación de aire comprimido deben estar diseñadas para que la pérdida de presión que producen a pleno caudal sea inferior a 0,01 bar. Además, como no es posible definir la carga térmica, se recomienda utilizar solo tuberías metálicas.

Conexión de las tuberías de distribución de aire comprimido

Para conectar las tuberías de la estación a la red de aire comprimido, se recomienda utilizar un colector del que salgan todas las tuberías de distribución (**imagen 1.1**). Así, en caso de necesidad, podrá interrumpirse el suministro de determinadas áreas operativas.

Instalación en el sector húmedo

En la zona donde hay aire comprimido húmedo, es decir, en los tramos de tubería situados después de los compresores y antes de los secadores, debe evitarse el uso de bolsas de agua siempre que sea posible. En caso contrario, la tubería debe estar inclinada en la dirección de la bolsa de agua y esta debe drenarse por medio de un purgador de condensado (**imagen 2**).

Conexión correcta de los componentes

Como norma general, dentro de la estación de aire comprimido, los distintos componentes (compresores, secadores, etc.) deben conectarse a la tubería principal desde arriba (**imágenes 3a, 3b**). A partir de un diámetro DN 100, también pueden conectarse lateralmente si el diámetro de la tubería principal es como mínimo dos calibres mayor que el diámetro de la tubería de conexión (por ejemplo, DN 100/DN 65).

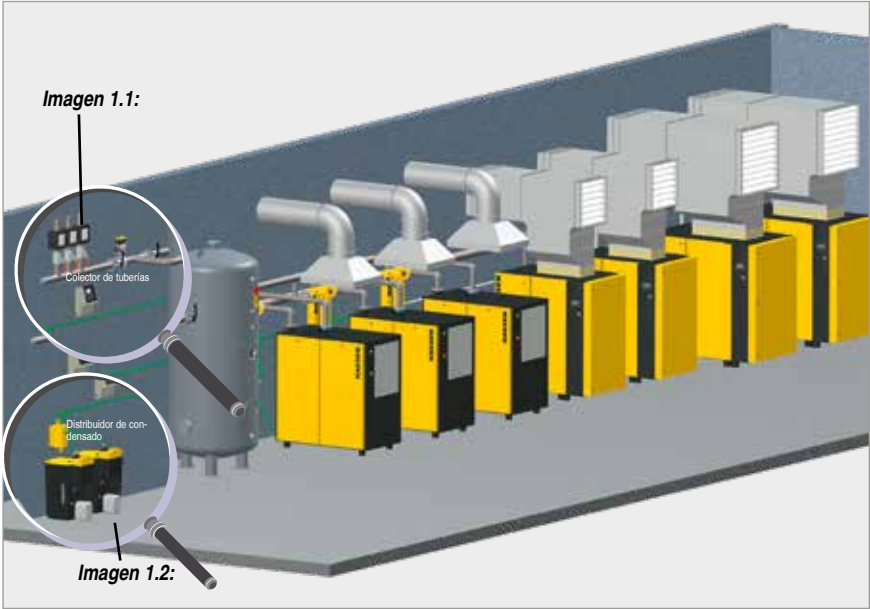


Imagen 1: Estación de aire comprimido con colector de tuberías.

Conexión de los compresores

Para que no se transmitan vibraciones, los compresores deben conectarse a la red de tuberías de manera flexible. Para tubos con un ancho inferior a DN 65, una buena opción son las mangueras (**imagen 4**). Entre la manguera y el primer codo de la tubería se coloca una fijación para absorber las fuerzas que se generen y evitar así que se transmitan a la tubería (**imagen 4.1**). Para tubos con un ancho superior a DN 65, en vez de una manguera deben utilizarse compensadores axiales (**imagen 3b**) para conectar de manera flexible el compresor a la red de tuberías.

Eliminación segura del condensado

Eliminar correctamente el condensado es uno de los requisitos fundamentales para mejorar la seguridad de servicio y la disponibilidad de la estación de aire comprimido. Para ello, es importante evitar errores, sobre todo a la hora de instalar las tuberías de condensado.

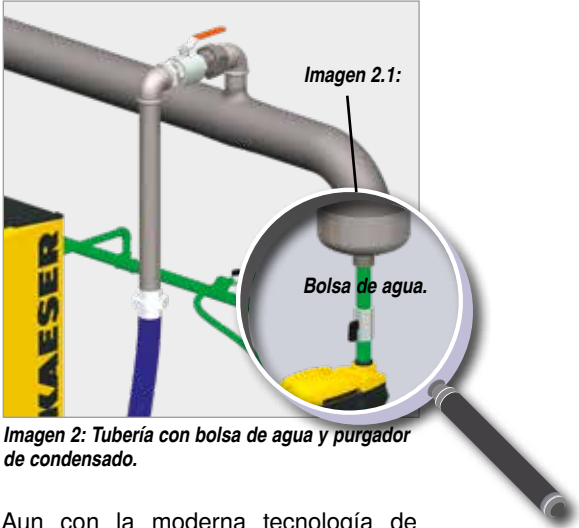


Imagen 2: Tubería con bolsa de agua y purgador de condensado.

Aun con la moderna tecnología de evacuación, a menudo las tuberías de conexión se unen incorrectamente al sistema de tratamiento del condensado. Para evitar estos fallos e ir a lo seguro, basta con seguir **estos consejos**:

Cierre del purgador de condensado

Los purgadores de condensado deben tener una llave de bola en cada lado

para poder cerrarlos y desmontarlos fácilmente del sistema en los trabajos de mantenimiento (**imagen 2.1**).

Tamaño correcto de la conexión

La conexión al tubo colector debe ser de al menos 1/2 pulgada para evitar una presión de retención innecesaria.

Conexión desde arriba

Las tuberías de condensado deben conectarse al tubo colector desde arriba para que unos puntos de evacuación no interfieran en otros (**imagen 3a [1]**).

Tubo colector: sin presión y con inclinación

El tubo colector de condensado debe tener siempre una suave inclinación, además de estar despresurizado. Solo en ese caso es posible instalar purgadores de condensado de distintos componentes del sistema (separador ciclónico, depósito de aire comprimido, secador frigorífico, filtro de aire comprimido) con diferentes niveles de presión. En caso contrario, deberán utilizarse diversos puntos de conexión en la unidad de tratamiento del condensado (AQUAMAT).

Varias unidades de tratamiento

Si se necesitan varias unidades de tratamiento debido a la cantidad de condensado producida, la tubería principal de condensado debe conectarse por medio de un distribuidor de condensado (**imagen 1.2**).

Presión del sistema superior a 16 bar

En sistemas con un nivel de presión superior a 16 bar, el condensado debe pasar por una cámara de relajación independiente de alta presión antes de entrar en la unidad de tratamiento.

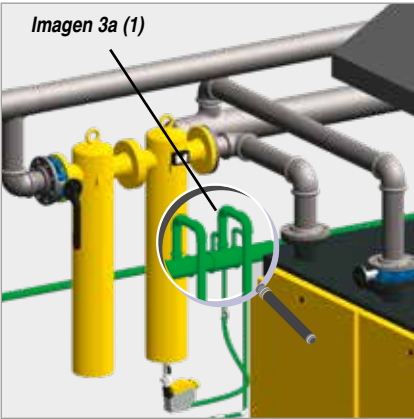


Imagen 3a: Conexión del secador frigorífico y el purgador de condensado (vistos desde arriba).



Imagen 3b: Conexión antivibraciones del compresor con compensador axial.

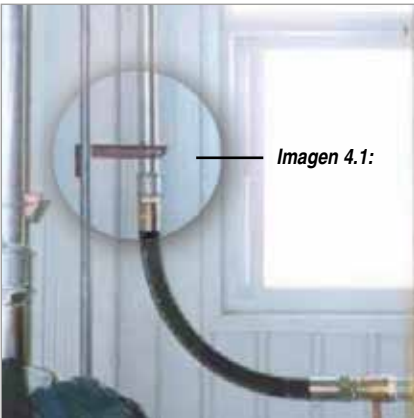


Imagen 4: Conexión antivibraciones del compresor con una manguera.

Elección del lugar adecuado para los compresores

Las condiciones ambientales y de instalación afectan enormemente a la rentabilidad y la fiabilidad de la producción de aire comprimido. A este respecto, hay que tener en cuenta tres reglas fundamentales.

1. Mantener limpia la estación

La limpieza y el mantenimiento de muchas estaciones de aire comprimido dejan mucho que desear, aunque no lleguen a presentar el aspecto de la **imagen 1**. Mantener limpia la estación implica sobre todo protegerla del polvo para que no se obstruyan los filtros de aire de aspiración de los compresores, ya que esto aumenta la necesidad de mantenimiento, reduce el rendimiento y afecta a la refrigeración por aire. También puede causar problemas de funcionamiento en los compresores debido al sobrecalentamiento y reducir el rendimiento de los secadores, lo que



Imagen 1: Estación de aire comprimido descuidada.

a su vez hace que se forme más condensado, con el consiguiente riesgo de que se produzcan daños en los consumidores y disminuya la calidad del producto. Si la estación no puede instalarse en un lugar donde no esté expuesta al polvo, se recomienda utilizar esterillas filtrantes o sistemas de filtros centralizados para purificar el aire de aspiración (**imágenes 2a, 2b**), aunque es importante que esos componentes no provoquen una gran pérdida de presión de aspiración.

2. Temperaturas moderadas

En invierno, hay que asegurarse de que la estación de aire comprimido esté protegida de las heladas. En primer lugar, en ella se produce y se transporta aire comprimido que, antes de ser tratado, contiene humedad; si las tuberías se congelaran por efecto del



Imagen 2a: Esterillas filtrantes centralizadas del aire de refrigeración.

condensado, se producirían graves problemas de funcionamiento. En segundo lugar, la capacidad de lubricación de los aceites y las grasas para rodamientos de los compresores se reduce cuando la temperatura baja de +5 °C, lo que también puede ocasionar fallos de funcionamiento. En verano, en cambio, hay que disipar el calor generado por los compresores para que la temperatura de la sala no sea más alta que la exterior. De lo contrario, los motores y los componentes eléctricos pueden sobrecalentarse y los secadores pueden sobrecargarse debido a un enfriamiento insuficiente del aire comprimido, lo que originaría condensado y averías en los consumidores. En el peor de los casos, la acumulación de calor causada por una ventilación deficiente puede hacer que los compresores y los secadores se paren por completo y, por lo tanto, que



Imagen 2b: Sistema de filtros del aire de refrigeración.

se interrumpa todo el suministro de aire comprimido. Para evitarlo, deben utilizarse sistemas de refrigeración que regulen automáticamente el equilibrio térmico de la estación de aire comprimido mediante la entrada, la salida y la recirculación de aire controladas termostáticamente (**imagen 3**).

3. Fácil mantenimiento de la estación

Los compresores y las unidades de tratamiento modernos requieren poco mantenimiento, pero aun así lo necesitan. Por eso, deben colocarse de manera que se pueda acceder fácilmente a todos los puntos de mantenimiento. Para que la producción de aire comprimido sea lo más rentable y segura posible, es imprescindible tener debidamente en cuenta los tres criterios que se han expuesto.



Imagen 3: Estación de aire comprimido con flujo de aire regulado por termostato.

Ventilación de las estaciones de aire comprimido

Ventilar correctamente la estación de aire comprimido puede ayudar mucho a mejorar la disponibilidad del aire y a minimizar los costes de mantenimiento.

1. Situar las aberturas de entrada de aire en el lugar adecuado

La ubicación de las aberturas de entrada de aire es muy importante para la ventilación de la estación de aire comprimido. Para que el funcionamiento sea fiable y seguro, el aire procedente del exterior debe estar lo menos expuesto posible a las condiciones meteorológicas. Por eso, es recomendable colocar las aberturas de entrada de aire en el lado donde no da el sol, protegidas de la intemperie y en la mitad inferior de la pared exterior de la estación.

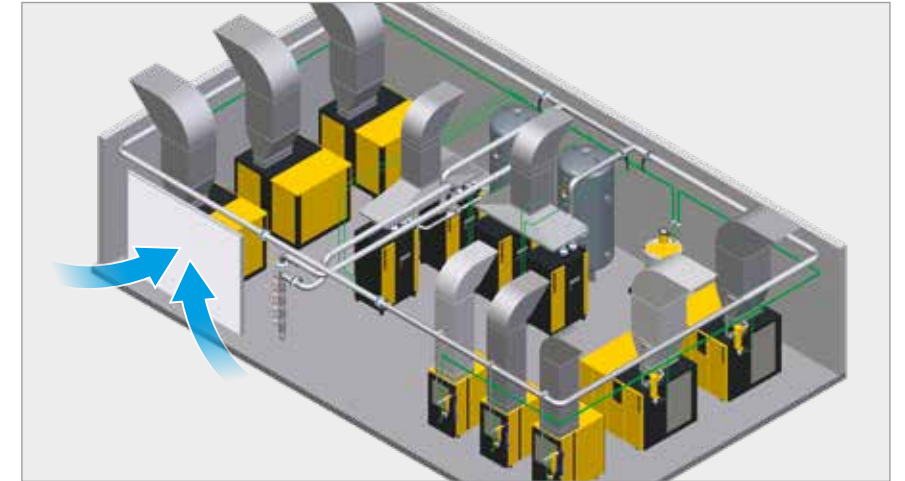


Imagen 2: Estación de aire comprimido con sistemas de entrada de aire.

2. Proteger la estación de la suciedad y los agentes contaminantes

Hay que asegurarse de que se aspire la menor cantidad posible de polvo y agentes contaminantes. Aquí se incluyen las sustancias agresivas e inflamables, como los gases de escape de los motores de combustión. Conviene prohibir el tráfico de camiones en la zona de aspiración de aire de la estación de aire comprimido. Si no se puede evitar que en el entorno de la estación haya polvo o suciedad, es imprescindible adoptar medidas de protección adecuadas. Si no hay demasiado polvo o suciedad, pueden ser de ayuda los filtros de aire de refrigeración; en casos extremos, es mejor usar dispositivos atrapa polvo.

3. Dimensionar y equipar correctamente las aberturas de entrada de aire

El tamaño de las aberturas de entrada de aire depende en primer lugar de la potencia de los compresores refrigerados por aire existentes. Por cada kilovatio de potencia nominal instalada, deben preverse aberturas con una sección libre de entre 0,02 y 0,03 m², lo que equivale a un caudal de aire de

refrigeración de entre 130 y 230 m³/h. Atención al término «sección libre»: las rejillas de protección contra inclemencias, las celosías y los filtros necesarios en condiciones de aspiración desfavorables reducen considerablemente la sección transversal, entre un 20 y un 60 % en función del sistema de ventilación. Merece la pena escoger sistemas de ventilación que favorezcan al máximo el flujo de aire. En cualquier

caso, siempre deben compensarse los estrechamientos de la sección transversal causados por los dispositivos de protección y regulación.

Normalmente, el sistema de entrada de aire (**imagen 1**) consta de una rejilla de protección contra inclemencias, una rejilla antipájaros, una rejilla de entrada de aire motorizada y, en su caso, un filtro de aire. En las estaciones con varios compresores, es aconsejable controlar termostáticamente los sistemas de entrada de aire y distribuir las aberturas en función de la ubicación y la potencia de cada unidad (**imagen 2**).

4. También deben ventilarse los compresores refrigerados por agua

Los compresores refrigerados por agua también suelen accionarse con motores refrigerados por aire y emiten calor, por lo que también necesitan ventilación suficiente. Casi el 10 % de la potencia instalada de un compresor refrigerado por agua es calor residual que debe disiparse con aire de refrigeración. Para ello también deben preverse aberturas de entrada de aire del tamaño adecuado.

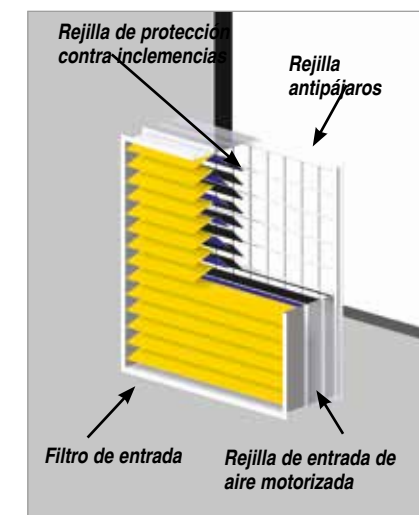


Imagen 1: Estructura de un sistema de entrada de aire.

Evacuación del aire de las estaciones de aire comprimido

Evacuar correctamente el aire de la estación de aire comprimido es fundamental para garantizar la disponibilidad del aire y minimizar los costes de mantenimiento. Si la temperatura exterior cae por debajo de +5 °C, la sala de servicio de la estación debe atemperarse con aire circulante.

1. Conducir el aire de salida

Los canales de salida de aire desempeñan una función importante dentro de la estación de aire comprimido: evacuan el calor que emiten el motor y los compresores junto con el aire de refrigeración calentado (**imagen 1**). En las máquinas modernas, el calor procedente de distintas fuentes sale de la unidad a través de una única abertura (**imagen 1, lupa**), que se conecta de manera flexible al canal de salida de aire con un empalme de lona (**imagen 2**). A través de ella se expulsa de la sala de compresores todo el calor disipado por medio del aire cuando la temperatura exterior supera los +10 °C. En caso necesario, deben añadirse canales individuales a los conductos de salida de aire de los compresores más antiguos, que a menudo siguen estando separados.



Imagen 2: Conexión de ventilación del compresor con empalme de lona.

2. Instalar un canal colector

Si por razones estructurales no es posible instalar canales individuales de salida de aire, la solución consiste en utilizar un canal colector (**imagen 3**). Para acoplar correctamente los compresores se necesitan rejillas anti-retorno, que cuando están cerradas impiden que el aire caliente vuelva a la estación cuando el respectivo compresor está parado. Las compuertas de

ventilación motorizadas reducen la pérdida de presión y pueden controlarse con la señal de motor en marcha. Los deflectores del canal colector también disminuyen las pérdidas de presión.

3. Atemperar con aire circulante

Con temperaturas exteriores inferiores a +5 °C, la estación debe contar con rejillas de circulación de aire que se activen a partir de +10 °C y se abran más o menos en función de la temperatura (**imagen 1**). En el caso de las estaciones de aire comprimido que están temporalmente fuera de servicio, debe instalarse un calefactor auxiliar para mantener la temperatura de la sala por encima de +5 °C.

4. Evacuar el aire de los secadores frigoríficos

Los secadores frigoríficos generan una cantidad de calor cuatro veces superior a la energía eléctrica que reciben, de ahí que necesiten su propio sistema de salida de aire con ventilador controlado por termostato (**imágenes 1 y 3**). Si en la estación hay varios secadores frigoríficos, el ventilador debe tener un control progresivo que se active a partir de +20 °C. Dado que este sistema no está en funcionamiento continuo, el canal de salida de aire no debe apoyarse directamente en el secador, salvo que este disponga de un potente ventilador integrado con la suficiente presión residual.

5. Diseñar y controlar correctamente los sistemas de salida de aire

Todos los sistemas de salida de aire deben diseñarse de manera que no causen una pérdida de presión superior a la presión residual que suministra la máquina más pequeña (deben tenerse en cuenta las indicaciones del

fabricante). De lo contrario, el aire de salida de esta unidad volvería a entrar en la sala de servicio. Si la presión residual no es suficiente, se necesitan ventiladores auxiliares. Las trampillas deben controlarse automáticamente mediante termostatos de ambiente y compresores. Para poder detectar rápidamente cualquier avería en las trampillas y transmitirla al sistema de control, se recomienda monitorizar la instalación con un controlador maestro (por ejemplo, el SIGMA AIR MANAGER 4.0).

6. Refrigeración por agua para casos especiales

Dado que los compresores refrigerados por agua también emiten una cantidad de calor equivalente al 10 % de la potencia instalada, requieren igualmente una ventilación adecuada.

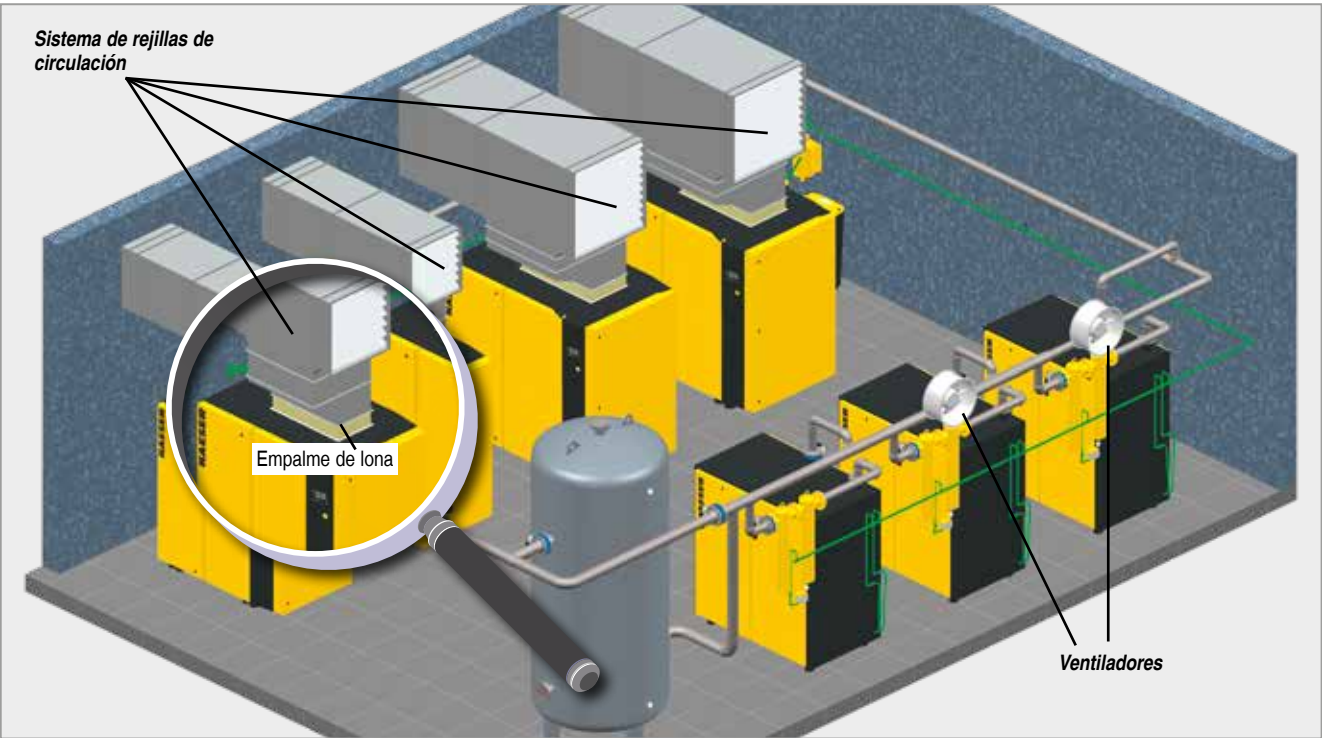


Imagen 1: Sistema de salida de aire con un canal individual para cada compresor.

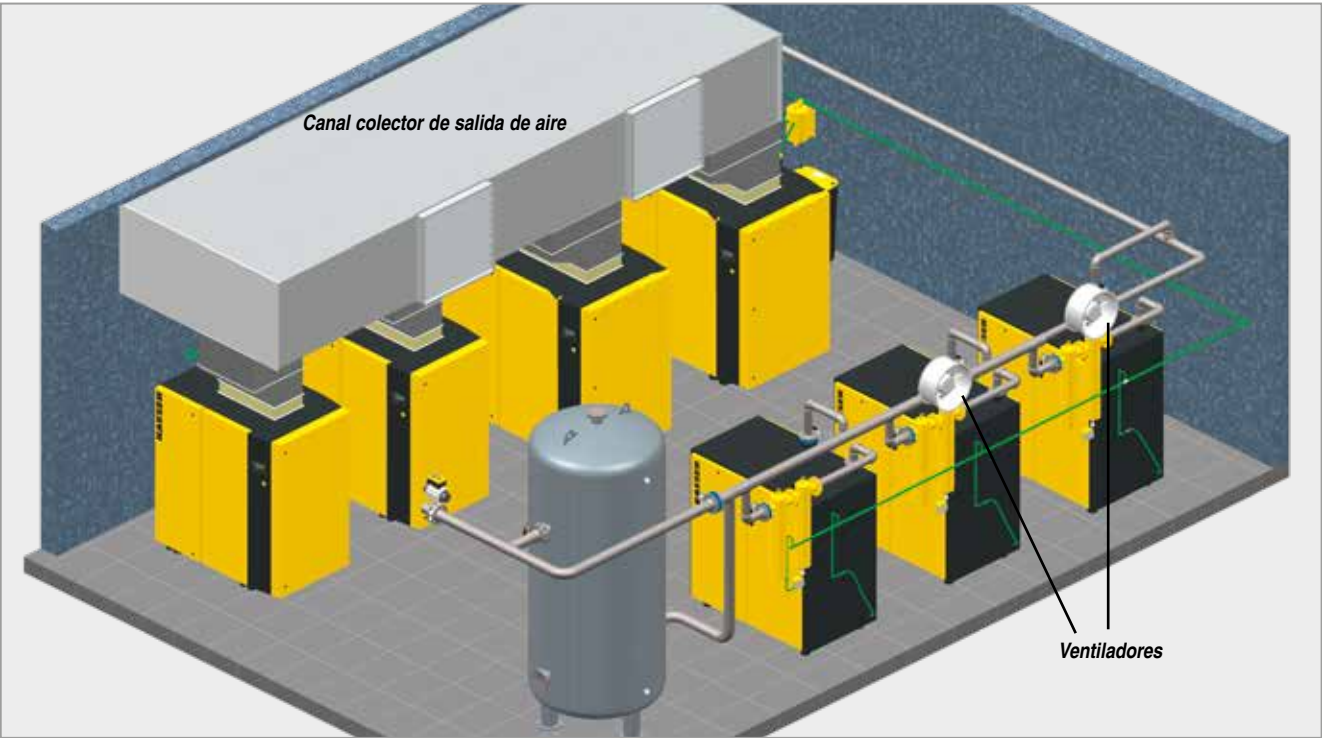


Imagen 3: Sistema de salida de aire con un canal colector para todos los compresores.

Apéndice

Cuestionarios
Notas

54-57

Cuestionarios sobre la estación de aire comprimido

Energy Saving System Service

KAESER

COMPRESSORS

1. What free air delivery do the compressors need to provide?

1.1 Air consumption of tools and machines used

Tools, machines	Air consumption per tool, machine m³/min	No. of tools, machines	Load / duty cycle %	Simultaneity factor %	Actual calculated air consumption 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	=

Air consumption of all tools

=

V_{Tools}

m³/min

1.2 Other consumers

=

V_{Other}

m³/min

1.3 Compressed air network leakages

=

V_{Leakage}

m³/min

1.4 Reserve

=

V_{Reserve}

m³/min

Min. req'd free air delivery from the compressors

=

V_{Total}

m³/min

Energy Saving System Service

KAESER

COMPRESSORS

2. Are compressors already in use?

No

Yes

Operator's designation	Manufacturer	Model	Pressure bar _(g)	Free air delivery m³/min	Continued use planned? Yes No
					☐ ☐
					☐ ☐
					☐ ☐
					☐ ☐
					☐ ☐
					☐ ☐
					☐ ☐

Total free air delivery of existing compressors that will continue to be used

=

V_{Existing}

m³/min

Existing compressed air treatment components:

Type/model (dryer, filter, drain etc.)	Manufacturer	Designed for m³/min	bar(g)	Remarks e.g. Incorrectly sized

Cuestionarios sobre la estación de aire comprimido

Energy Saving System Service

KAESER

COMPRESSORS

3. Have standby compressors been in use up until now (reserve capacity, back-up)?

☐ Yes, how many?

☐ No ☐ Planned for the future

4. Is a master controller in use?

☐ Yes, which?

☐ No

Planned for the future:

☐ Base load sequencer

☐ Master controller SAM_/_

☐ Master controller VESIS

5. Is heat recovery used?

☐ Yes, purpose:

☐ No ☐ Planned for the future:

6. What grade of compressed air quality is required?

(refer to worksheet "Compressed air treatment, condensate treatment")

Centralised Air consumption m³/min	Local Air consumption m³/min	Compressed air quality class as per ISO/DIS 8573-1		
		Remaining oil content	Remaining dust	Remaining water
☐	☐			
☐	☐			
☐	☐			
☐	☐			

Energy Saving System Service

KAESER

COMPRESSORS

7. What maximum pressure do the compressors need to provide?

7.1 Min. required working pressure at the consumer

p_{Wmin} bar_(g)

7.2 Pressure losses

across the pipe network

Pipework material

Alternative: Length of pipe network m

p_P bar

from the activated carbon adsorber

p_{ACmin} bar

p_{ACmax} bar

from the sterile filter

p_{FSTmin} bar

p_{FSTmax} bar

from the microfilter

p_{FXmin} bar

p_{FXmax} bar

from the microfilter combination

p_{FXmin} bar

p_{FXmax} bar

from other filters

p_{FVmin} bar

p_{FVmax} bar

from the dryers

p_{Dry} bar

7.3 Compressor control deviation

$p_{Control}$ bar

Required maximum pressure from the compressors

= p_{MaxReq} bar_(g)

Minimum pressure from the compressors ($p_{MaxReq} - p_{Control}$)

p_{min} bar_(g)

58

59

Cuestionarios sobre la estación de aire comprimido

Energy Saving System Service



8. Operating conditions

8.1 Maximum intake temperature

t_{lmax}

°C

8.2 Minimum air pressure (at max. intake temperature)

P_{lmin}

bar

8.3 Maximum relative air humidity (at max. intake temperature)

H_{rellmax}

%

8.4 Minimum intake temperature

t_{lmin}

°C

8.5 Cooling

☐ Air-cooled

☐ Water-cooled

☐ Closed cooling system

Cooling water inlet temperatures

t_{inMax}

°C

t_{inMin}

°C

☐ Open cooling system

Cooling water return temperatures

t_{retMax}

°C

t_{retMin}

°C

Cooling water quality:

☐ As per KAESER standard

Cooling water pressure

p_{coolW}

bar_(g)

Energy Saving System Service



8.6 Heat recovery

☐ Use of hot air

Purpose:

☐ Water heating

Purpose:

Water inlet temperature

t_{inHR}

°C

Water return temperature

t_{retHR}

°C

Water volume

V_{waterHR}

m³/h

8.7 Compressor room installation conditions

Dustiness

☐ Low

☐ High

Cleanliness

☐ Low

☐ High

Ventilation opening

☐ present,

m²

☐ Not present

Exhaust opening

☐ present,

m²

☐ Not present

60

61



Anote la información más importante:

[illegible][illegible]

Más aire comprimido con menos energía

Siempre cerca de usted

KAESER KOMPRESSOREN está presente en todo el mundo como uno de los fabricantes de compresores, soplantes y sistemas de aire comprimido más importantes.

Nuestras filiales y nuestros socios ofrecen al usuario los sistemas de aire comprimido y soplado más modernos, eficientes y fiables en más de 140 países.

Especialistas e ingenieros con gran experiencia le brindan un asesoramiento completo y soluciones individuales y eficientes para todos los campos de aplicación del aire comprimido y soplado. La red informática global del grupo internacional de empresas KAESER permite a todos los clientes el acceso a sus conocimientos.

La red global de ventas y asistencia técnica, con personal altamente cualificado, garantiza la disponibilidad de todos los productos y servicios KAESER.



KAESER COMPRESORES, S.L.U.

P.I. San Miguel A; C/. Río Vero, nº 4 – 50830 - VILLANUEVA DE GÁLLEGO (Zaragoza) – ESPAÑA
Teléfono: 976 46 51 45 – Fax: 976 46 51 51 – Teléfono 24 h: 607 19 06 28
E-mail: info.spain@kaeser.com – www.kaeser.com