

## Libro blanco

### Reducción de hasta el 60% en los costes energéticos de los sistemas de aire comprimido



Para poder sobrevivir a la dura competencia, muchas empresas buscan maneras de reducir los costes de producción, y los sistemas y equipos de aire comprimido que ya tienen varios años ofrecen un gran potencial de ahorro. Mejorando las naves y las instalaciones, los gastos energéticos pueden reducirse en hasta un 60%. Sin embargo, la única manera de alcanzar este objetivo es observando el sistema de aire comprimido como una única unidad.

Todas las áreas, diseño, preparación, distribución y aplicación, deben tomarse en consideración a la hora de seleccionar las medidas posteriores. Asimismo, también debe disponerse del equipamiento necesario de análisis e implementación. En muchos casos, estas medidas también tienen la ventaja adicional de reducir los costes de mantenimiento. Y, gracias a la supresión de posibles focos de fallo, también mejoran la seguridad general de los procesos y la productividad.

**El presente libro blanco contiene informaciones sobre**

- ¿Qué coste tiene la generación de aire comprimido y qué coste tienen las fugas?
- ¿Dónde yace el potencial de ahorro energético de los equipos de aire comprimido?
- ¿Cómo pueden descubrirse los potenciales de ahorro energético?
- ¿Qué medidas son provechosas para cada caso? ¿Quién puede implementarlas?
- ¿Cuánto tardan en amortizarse estas medidas (retorno de la inversión)?
- Un ejemplo práctico

## ¿Qué costes alcanza la generación de aire comprimido?

Por norma general, los costes del aire comprimido se especifican en Nm<sup>3</sup> (según ISO6358, a 1,0 bar y 20 °C o, en el caso de muchos fabricantes de compresores, en m<sup>3</sup> según ISO 1217:2009, Apéndice C). A partir del total se pueden determinar los costes fijos y variables, así como la potencia de suministro anual de la estación de compresores:



Figura 1: Cálculo de los costes medios del aire comprimido

Los costes fijos anuales incluyen lo siguiente:

- Depreciación de la inversión
- Intereses
- Costes de uso de las instalaciones

Los costes variables están compuestos por:

- Costes energéticos durante los tiempos de carga máxima y de marcha en vacío de los compresores
- Costes anuales de los materiales auxiliares, como aceites, agua de refrigeración, etc.
- Costes de mantenimiento y de reparación

La mayor parte de los costes desaparecen, siendo aproximadamente el 75% de origen energético<sup>1</sup>. Para generar 1 Nm<sup>3</sup> de aire comprimido, las estaciones de compresores modernas necesitan entre 100 y 120 Wh/Nm<sup>3</sup> (índice de aire comprimido [kWh/Nm<sup>3</sup>]).

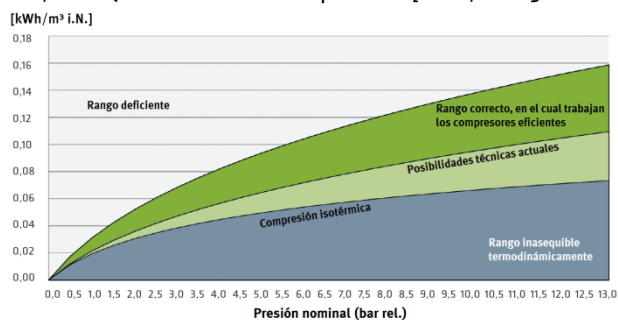


Figura 2: Índices de aire comprimido para las estaciones de compresores<sup>2</sup>

Un sistema centralizado de recuperación de calor puede contribuir a reducir los costes de aire comprimido hasta en un 30% (en este cálculo se incluye el ahorro en los costes de calefacción). Por ejemplo, un sistema de recuperación de calor con agua

<sup>1</sup> Proyecto EnEffAH "Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik" (Eficiencia energética en sistemas de producción, especialidad técnicas de accionamiento y manipulación, EnEffAH), (2008-2012); estudio "Compressed air systems in the European Union" (Sistemas de aire comprimido en la Unión Europea), Fraunhofer Institut ISI (2000)

<sup>2</sup> Proyecto EnEffAH (2008-2012)

caliente permite utilizar hasta el 72% de la potencia útil de los compresores como fuente de calor, y en un sistema de refrigeración exclusivamente por aire se puede llegar hasta el 90%.

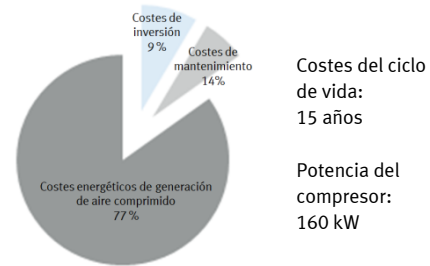


Figura 3: Costes de la generación de aire comprimido<sup>3</sup>

## Cálculo de los costes medios de la generación de aire comprimido

El margen de valores para unos costes realistas del aire comprimido se encuentra entre 1,5 ct/Nm<sup>3</sup> y 2,7 ct/Nm<sup>3</sup>. El amplio margen de fluctuación depende de varios factores. Las más importantes son los siguientes:

- Coste de la electricidad por kWh
- Potencia específica de cada compresor (tipo de compresores utilizados)
- Uso de un controlador inteligente
- Tamaño de la empresa y de los compresores
- Condiciones atmosféricas del aire aspirado (densidad)

El precio medio del aire comprimido para una presión relativa de 6 bar en el equipo puede cuantificarse en 1,9 ct/Nm<sup>3</sup>. Este valor se obtiene a partir de las suposiciones siguientes:

- Coste de generación a 120 Wh/Nm<sup>3</sup> (rige para una presión relativa de 8 bar en el compresor)
- Coste de la electricidad: 12 ct/kWh
- Relación de costes energéticos y adicionales: 75% a 25%

## Cálculo de los costes de generación de aire comprimido específicos de una planta

Para poder analizar con profundidad los potenciales de ahorro de cada estación de compresores, es fundamental determinar los costes de aire comprimido por Nm<sup>3</sup> específicos de cada planta.

Los costes del aire comprimido por Nm<sup>3</sup> de todas las estaciones de compresores se pueden determinar con mucha precisión midiendo el consumo eléctrico y la cantidad suministrada que se genera en realidad. A menudo, para ello se utilizan las cantidades

<sup>3</sup> Estudio "Compressed air systems in the European Union" (Sistemas de aire comprimido en la Unión Europea), Fraunhofer Institut ISI 2000

suministradas que se especifican en la ficha técnica. Sin embargo, la cantidad suministrada real puede variar en función de las condiciones de aspiración, por lo que debería medirse al mismo tiempo que el consumo de potencia.

Si no fuera posible medir estos parámetros con precisión, puede hacerse una estimación aproximada de los costes del aire comprimido. Para ello se necesitan las especificaciones técnicas de los compresores, es decir:

- La potencia nominal [kW] y la cantidad suministrada nominal [Nm<sup>3</sup>/h] para el nivel de presión requerido [presión relativa en bar]
- Carga normal media de las distintas máquinas
- Tiempo de trabajo en la planta

Junto con la tarifa eléctrica local [€/kWh], estos valores permiten hacer una estimación de los costes del aire comprimido [€/Nm<sup>3</sup>] y los costes anuales [€] correspondientes al volumen de aire comprimido consumido [Nm<sup>3</sup>].

Para determinar los costes en el régimen de producción, debe procederse tal como se explica a continuación:

1. Potencia consumida [kW] sumando la potencia en carga máxima y en vacío

Potencia en carga máxima = Potencia nominal [kW] \* carga normal [%]  
Potencia en vacío = 30% \* potencia nominal [kW] \* (100% - carga normal [%]),

Nota: la potencia real suele estar hasta un 30% por encima de la nominal, factor que puede tomarse en consideración al realizar la estimación.

2. Cantidad suministrada [Nm<sup>3</sup>/h] en el régimen productivo

Cantidad suministrada = Carga normal [%] \* cantidad suministrada nominal [Nm<sup>3</sup>/h]

3. Índice de aire comprimido [kWh/Nm<sup>3</sup>]

Índice de aire comprimido = (Potencia en carga máxima + potencia en vacío) [kW] / cantidad suministrada [Nm<sup>3</sup>/h]

4. Costes del aire comprimido [€/Nm<sup>3</sup>]

Costes del aire comprimido = (1/75%) \* índice de aire comprimido [kWh/Nm<sup>3</sup>] \* costes de la electricidad [€/kWh]

Nota: de media, los costes del aire comprimido están formados por un 75% de costes energéticos y un 25% de costes adicionales

5. Costes de consumo anual [€/a]

Costes = Horas de trabajo productivas [h/a] \* cantidad suministrada [Nm<sup>3</sup>/h] \* índice de aire comprimido [kWh/Nm<sup>3</sup>] \* costes de la electricidad [€/kWh]

Para obtener una valoración global del consumo, deben incluirse los costes de las fugas que se producen durante el funcionamiento no productivo, utilizando los mismos procedimientos.

## ¿Cómo se originan las fugas y qué costes adicionales conllevan?

### ¿Cómo se originan las fugas?

Tal como sucede con el consumo en reposo en los sistemas de accionamiento eléctricos, las fugas de los

sistemas de aire comprimido (todavía) son inevitables. Sin embargo, la tecnología actual permite garantizar un volumen de fugas aceptable, siempre y cuando el aire comprimido se manipule correctamente y las fugas se controlen constantemente.

Las fugas evitables tienen muchas causas diferentes:

- **Fallos de montaje y errores sistemáticos**, como el apriete insuficiente o excesivo de los tornillos y las juntas, o daños mecánicos (p.ej. desgaste en los tubos flexibles).
- **Manipulación incorrecta** de los componentes de aire comprimido (p.ej. corte deficiente de los tubos flexibles)
- Fugas derivadas del **desgaste** de los componentes de aire comprimido
- Cargas químicas en los componentes derivadas de las **condiciones ambientales** y como consecuencia del uso de un material inadecuado

### ¿Qué costes tienen las fugas?

Incluso las pequeñas fugas ofrecen un gran potencial de ahorro. En las siguientes tablas se indica el volumen de aire que se pierde por los agujeros de fuga con un diámetro específico y los costes adicionales que ocasionan:

p1 (rel.)	Índice de fuga en NI/min					
	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm
3 bar	9	36	81	145	226	325
4 bar	11	45	102	181	282	407
5 bar	14	54	122	217	339	488
6 bar	16	63	142	253	395	569
7 bar	18	72	163	289	452	651
8 bar	20	81	183	325	508	732

p1 (rel.)	Costes/año					
	0,5 mm	1,0 mm	1,5 mm	2,0 mm	2,5 mm	3,0 mm
3 bar	90 €	361 €	812 €	1.444 €	2.256 €	3.248 €
4 bar	113 €	451 €	1.015 €	1.805 €	2.820 €	4.061 €
5 bar	135 €	541 €	1.218 €	2.166 €	3.384 €	4.873 €
6 bar	158 €	632 €	1.421 €	2.527 €	3.948 €	5.685 €
7 bar	180 €	722 €	1.624 €	2.888 €	4.512 €	6.497 €
8 bar	203 €	812 €	1.827 €	3.248 €	5.076 €	7.309 €

Tabla 1/2: Costes de fugas en un plazo de un año con un régimen de servicio de 24 h/ 365 días, calculado con unos costes de aire comprimido de 1,9 ct/Nm<sup>3</sup>.

El momento en que una fuga pasa a considerarse una pérdida depende de la relación respecto al consumo total. Las fugas grandes y ruidosas son muy costosas y deben repararse inmediatamente. Las fugas pequeñas y moderadas (agujeros de menos de 0,5 mm de diámetro) se pueden detectar fácilmente con un detector de fugas profesional y deben repararse lo antes posible.

Se aplica la siguiente regla general:  
En los equipos actuales, un 20% de las fugas que se pueden detectar constituyen hasta el 80% de los costes que se pueden ahorrar.

Esto significa que eliminar las fugas rápidamente merece la pena, porque cada reparación ayuda a ahorrar energía de manera inmediata y, por ende, a reducir los costes.

### ¿Dónde yace el potencial de ahorro energético de los equipos de aire comprimido?

La detección de fugas es un elemento fundamental para descubrir los potenciales de ahorro energético. Sin embargo, un análisis completo debe considerar las 4 áreas de un sistema de aire comprimido:

- Generación de aire comprimido
- Preparación del aire comprimido
- Distribución de aire comprimido
- Utilización del aire comprimido



Figura 4: Es posible ahorrar en todo el sistema de aire comprimido

Dependiendo de la viabilidad de una medida de ahorro, la rentabilidad y los ahorros obtenidos, el potencial de ahorro medio varía para cada una de las distintas áreas del sistema:

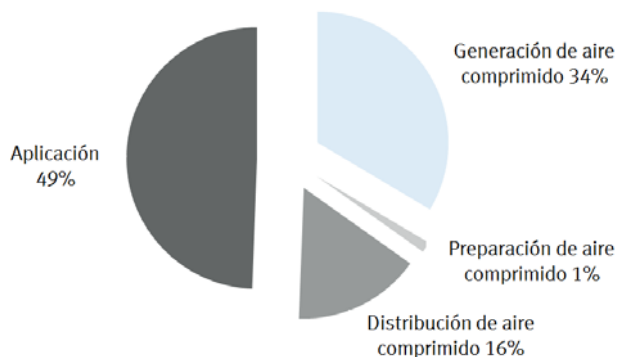


Figura 5: Rentabilidad de las medidas en las distintas áreas del sistema de aire comprimido

**Las medidas que se presentan a continuación se basan en un equipo de aire comprimido existente en el cual no se ha realizado ninguna actualización durante los 5 últimos años.**

### ¿Cómo pueden descubrirse los potenciales de ahorro energético?

Existen distintas medidas para descubrir los potenciales de ahorro, aunque varían en función del área del sistema de aire comprimido.

En primer lugar, se recomienda realizar una **auditoría del aire comprimido**, es decir, analizar a fondo el sistema existente centrándose en la eficiencia energética (uso eficaz y eficiente de la energía). Para poder elaborar recomendaciones minuciosas y rentables que tengan por objetivo el máximo aprovechamiento de los potenciales de ahorro, una buena auditoría debe tomar en consideración cuatro ámbitos diferentes: el sistema general, la generación de aire comprimido, la preparación de aire comprimido y el uso del aire comprimido.

Es muy importante que la auditoría se adapte al sistema de aire comprimido que se va a tratar, puesto que tanto las instalaciones como los objetivos de cada empresa son diferentes. A continuación se explica qué aspectos deben tomarse en consideración en la auditoría y cómo debe estructurarse una buena auditoría.

### 1. Medidas de ahorro en la generación de aire comprimido: con un análisis energético

Para poder obtener información fiable sobre los costes del aire comprimido de la planta o la empresa, así como sobre los potenciales de ahorro específicos, es necesario realizar un análisis energético minucioso en la estación de compresores.

#### El análisis energético permite cumplir los siguientes objetivos:

- Establecer los perfiles de consumo de las estaciones de compresores: estos perfiles documentan el consumo de aire comprimido, incluida la información sobre las variaciones en el consumo durante distintos regímenes operativos
- Obtener conocimiento sobre todo el sistema y sus reservas de potencia para poder identificar las posibilidades de ahorro
- Calcular los costes de aire comprimido específicos de la planta

<sup>4</sup> Estudio "Compressed air systems in the European Union" (Sistemas de aire comprimido en la Unión Europea), ISI 2000

## Implementación

Para elaborar los perfiles de consumo, durante un periodo prolongado (de 7 días como mínimo) se registran, en parte de manera sincronizada, distintos parámetros de la generación de aire comprimido, en especial:

- Consumo eléctrico de los distintos compresores
- Cantidad suministrada real / consumo de aire comprimido
- Aire comprimido en el acumulador central y en la red poco antes de utilizarse.

Es muy importante que estos registros también cubran las paradas y el fin de semana.

Para determinar los perfiles de consumo se necesita un instrumento de medición especial. Por norma general, la instalación puede realizarse durante el régimen de servicio normal, por lo que ya no es necesario cortar la alimentación de aire comprimido para instalar las sondas de medición.

A partir de los valores medidos, puede realizarse una primera interpretación y evaluación de calidad de los datos obtenidos para clasificar las fugas y elaborar un análisis de costes. Para ello, también se incluyen, entre otros factores, la carga normal de los compresores (ciclos de carga y vacío por horas) y el volumen de fuga total durante los tiempos de parada.



Figura 6: Análisis energético de la generación de aire comprimido

Entre las medidas de mejora más frecuentes se encuentran las siguientes:

- Reducir las caídas de presión y, con ello, la presión del compresor  
Importante: Una reducción de una presión relativa de 7 bar a 6 bar en el compresor conlleva de media un ahorro del 6% en el consumo de potencia.
- Utilizar un controlador general para reducir al mínimo las pérdidas en vacío y utilizar los compresores de carga máxima en los perfiles de consumo de aire comprimido con muchas fluctuaciones
- Eliminar las fugas en la nave
- Desconectar la alimentación de aire comprimido
- Recuperar el calor

## 2. Medidas de ahorro en la preparación de aire comprimido: con un análisis de calidad del aire comprimido

Para poder garantizar la seguridad de los procesos, es importante que se utilice aire comprimido de buena calidad. Un sistema de preparación del aire comprimido se encarga de eliminar las partículas (aceite, agua y suciedad) que hay en el aire ambiente y que se comprimen durante el proceso de compresión. La calidad del aire comprimido viene definida en la norma ISO 8573-1 (2010).

### Calidad del aire según ISO 8573-1

Clase	Polvo/partícula		Agua		Aceite mg/m <sup>3</sup>
	µm	mg/m <sup>3</sup>	DTP [°C]	g/m <sup>3</sup>	
1	0,01	0,1	-70	0,003	0,01
2	1	1	-40	0,12	0,1
3	5	5	-20	0,88	1
4	15	8	3	6	5
5	40	10	7	7,8	25
6	-	-	10	9,4	-
7	-	-	sin especificar		-

Figura 7: Cuadro general sobre el contenido de polvo, agua y aceite en el aire comprimido según ISO 8573-1 (2010)

Para las áreas de producción que no estén sujetas a altos niveles de exigencia, se establece una calidad mínima del aire comprimido para los componentes de las aplicaciones de aire comprimido. Así, renombrados fabricantes de productos neumáticos como, por ejemplo, de cilindros, exigen para la mayoría de sus productos una calidad media del aire comprimido de 7:4:4. (partículas de suciedad máx. 40 µm, punto de condensación bajo presión a +3 °C y contenido residual de aceite de 5 mg/m<sup>3</sup>). En general, la misma calidad del aire es también suficiente para el funcionamiento de actuadores lineales y giratorios de válvulas para procesos continuos. Partículas más grandes causan, por ejemplo, la pérdida de la lubricación de por vida, así como un mayor desgaste y deterioro en las juntas. Las juntas dañadas, la oxidación y la obstrucción de las conducciones, por ejemplo, incrementan los costes energéticos y operativos. Con frecuencia, suelen acabar provocando una parada indeseada de la maquinaria.

Por norma general, para el funcionamiento de posicionadores y reguladores de proceso, así como para los cabezales de control de válvulas sobre válvulas para procesos continuos, se requieren unos niveles de exigencia mayores en cuanto al aire comprimido. En función del tipo de regulación, se exigen calidades del aire comprimido de hasta 3:4:3

(tamaños de partículas máx. 5  $\mu\text{m}$ , aceite máx. 1  $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Si los aparatos se emplean en aplicaciones en exteriores o en almacenes y áreas de producción sin calefacción, el aire también deberá secarse en función de las condiciones climáticas. Normalmente se consideran los puntos de condensación bajo presión -20 °C (clase 3) o -40 °C (clase 2). Estos corresponden a las clases de aire comprimido 3:3:3 o 3:2:3.

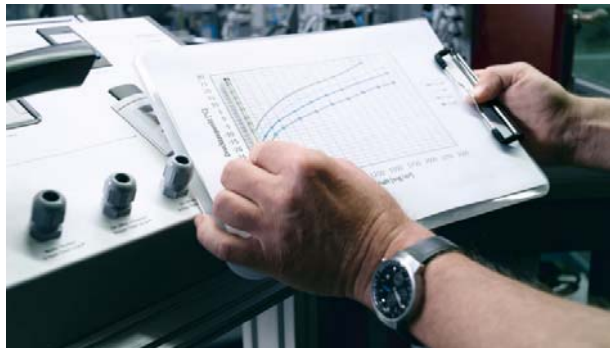


Figura 8: Medición de la calidad del aire comprimido

### Aire comprimido en contacto con productos delicados

Las exigencias para el aire comprimido serán aún mayores si el aire comprimido entra en contacto directo con materias primas, productos acabados y productos para embalajes. Esto se tiene en cuenta, especialmente, en la industria alimentaria y de bebidas, en la industria farmacéutica así como en partes de la industria de productos químicos finos. En el sector de la alimentación y de los medicamentos, se puede llegar hasta la clase 2:2:2 o, incluso, la 1:2:1. Como alternativa, en muchos procesos se exige aire esterilizado, es decir, aire libre de microorganismos. Esto es así tanto en la producción de helados, como en la producción farmacéutica. En la producción biotecnológica (proceso de fermentación) el aire esterilizado se emplea, por ejemplo, para la transferencia de productos entre dos depósitos. En el llenado de productos cremosos, como el yogurt, al recipiente de la máquina de llenado se le aplica una presión constante para garantizar un llenado homogéneo y reproducible.

Para no sobrecargar en exceso el filtro de esterilización, el aire comprimido se acondiciona en varias etapas hasta alcanzar, como mínimo, la clase 3:4:1, antes de emplear el filtro de esterilización en la última etapa para eliminar los microorganismos y otras partículas. En el caso de emplearse catalizadores para el acondicionamiento del aire esterilizado, el contenido de aceite en la entrada puede ser mayor, ya que los catalizadores descomponen todos los enlaces de hidrocarburos sin importar si se trata de materia viva o muerta.

### Preparación del aire centralizada o descentralizada

Si en la producción se va a emplear una gran cantidad de aire esterilizado, se deberá determinar la

proporción de dicho aire en el consumo de aire total. Para simplificar las cosas y para evitar en parte posibles riesgos, en algunas empresas farmacéuticas se alimentan sistemas completos con aire esterilizado, incluso los actuadores de las válvulas para procesos continuos y otros receptores neumáticos. Esto reduce los gastos de instalación necesarios para dos redes de aire comprimido independientes, pero los costes operativos se disparan. Aquí, las fugas resultan significativas con unos mayores costes por  $\text{m}^3$  de aire esterilizado.

### El análisis de calidad permite cumplir los siguientes objetivos:

- Comprobar la calidad del aire comprimido y adaptarla a las condiciones o categorías de calidad exigidas
- Prevenir fallos en las máquinas
- Reducir los costes de mantenimiento
- Aumentar la vida útil de los componentes que utilizan aire comprimido

### Implementación

- Medir el contenido residual de agua y aceite después de la preparación centralizada y descentralizada del aire comprimido
- Determinar el punto de condensación bajo presión y el contenido de agua, teniendo en cuenta la presión absoluta del aire
- Inspeccionar visualmente la fuente del sistema descentralizado de preparación de aire comprimido
- Documentar y evaluar los resultados
- Elaborar medidas de mejora para adaptar la calidad del aire comprimido (p.ej. con filtros o un secador por absorción descentralizado).



Figura 8: Festo AirBox, instrumento para medir fácilmente el consumo y la calidad del aire comprimido

Para realizar el análisis de la calidad del aire comprimido se necesitan instrumentos de medición especiales.

### 3. Medidas de ahorro en la nave o el equipo para todo el sistema: localización y reparación de las fugas

La localización y reparación sistemática de fugas en el sistema de aire comprimido en general contribuyen de manera decisiva a reducir los costes del aire comprimido. Especialmente en los equipos más antiguos, se recomienda realizar la localización y -eliminación de fugas en todos los casos. Tanto nuestra experiencia como distintos estudios han demostrado que los equipos antiguos son los que tienen mayor potencial de ahorro, y también que son los más fáciles de mejorar. Además, los sensores de presión y caudal de aire que hay integrados en los instrumentos de medición permiten instalar un sistema de gestión de fugas automático con función de mantenimiento remoto.

#### La localización de fugas permite cumplir los siguientes objetivos:

- Identificar y eliminar las fugas en todo el sistema de aire comprimido.

#### Implementación

- Comprobar sistemáticamente todo el sistema de aire comprimido, tanto a nivel de la nave como del equipo
- Clasificar las fugas detectadas en función de su volumen y marcarlas
- Documentar las fugas con todos los datos relevantes para repararlas (p.ej. repuestos necesarios, tiempo de reparación estimado, etc.).
- Elaborar un plan de actuación específico para la planta que permita eliminar las fugas
- Eliminación de fugas

Para realizar la localización de fugas se utilizan detectores de ultrasonidos que, por norma general, no requieren que se pare la planta. Este equipo especial es necesario para que también las fugas más pequeñas puedan escucharse con la maquinaria en marcha.

En la mayoría de empresas, las tareas de localización de fugas se encargan a un servicio externo. Gracias a la información detallada que se recopila incluso durante la propia actividad de localización de fugas, las fugas pueden repararse rápida y sistemáticamente.



Figura 9: Localización de fugas en la distribución de aire comprimido

En una situación ideal, los datos obtenidos se ponen a disposición de todo el personal implicado, como el técnico de mantenimiento, el encargado y el director de la planta, a través de una base de datos central. Ahí están documentadas todas las medidas. Esta información puede utilizarse para realizar evaluaciones y comparaciones periódicamente.

#### 4. Medidas de ahorro en el uso del aire comprimido: con un análisis del consumo de aire comprimido y un análisis de eficiencia energética de la maquinaria

##### Análisis del consumo de aire comprimido

Solo quienes conocen el consumo de aire comprimido de la nave de producción, y de cada una de las máquinas, pueden diseñar y -dimensionar óptimamente la alimentación y distribución del aire comprimido para sus equipos.

El dimensionamiento óptimo de las tuberías y los tubos flexibles de la planta y de los componentes de preparación descentralizada de aire comprimido ayuda a:

- Prevenir las caídas de presión por alimentación insuficiente de aire comprimido, así como los descensos en la productividad que conllevan
- Terminar con el derroche de consumo de energía causado por un exceso de alimentación de aire comprimido.

Este último caso se produce cuando la presión está regulada demasiado alta en la unidad de mantenimiento descentralizada (p.ej. resistencias hidrodinámicas excesivas en el equipo o uso excesivo de filtros, que generan una calidad de aire comprimido innecesaria).

Otra ventaja es que, cuando se conocen los distintos consumidores que constituyen el equipo, cualquier diferencia significativa respecto al consumo normal constituye una señal de alerta (p.ej. sobre un fallo actual o inminente).



Figura 10: Medición del consumo de aire comprimido

##### Objetivo

- Determinar el consumo de aire comprimido real de las distintas máquinas para poder dimensionar óptimamente la alimentación de aire comprimido
- Determinar las pérdidas por fugas de las distintas máquinas
- Determinar los distintos valores característicos para poder realizar comparaciones a largo plazo y establecer las bases para la supervisión de los equipos.

##### Implementación

- Medir el consumo exacto de aire comprimido en cada una de las máquinas y aplicaciones, tanto durante las paradas como en funcionamiento
- Analizar diferentes valores característicos:
  - Consumo por ciclo de funcionamiento de las máquinas
  - Consumo medio por minuto
  - Presión media
  - Presión máx./mín.
  - Caudal máx./mín. de aire
- Evaluar y documentar los resultados de la medición

También aquí, para realizar las mediciones se utilizan instrumentos de medición especiales. Para poder evaluar más tarde los datos medidos, es necesario guardarlos.

##### Análisis de la eficiencia energética de las máquinas

Para realizar una evaluación precisa y elaborar medidas para mejorar la eficiencia energética, además de los datos del análisis del consumo de aire comprimido, también se registra la siguiente información:

- Componentes de aire comprimido (especialmente boquillas de aire, aire de barrido) y accionamientos neumáticos utilizados
- Dimensionamiento de los componentes y las piezas de conexión
- Modificaciones técnicas de la aplicación (fuerza, velocidad, etc.)

Para identificar las medidas de optimización que resultan rentables y son técnicamente posibles, deben realizarse comprobaciones sistemáticas de la eficiencia energética de los equipos, es decir, utilizar el volumen de aire comprimido que necesita cada aplicación, de acuerdo con los parámetros especificados arriba.

##### El objetivo es el siguiente:













- Analizar las aplicaciones de aire comprimido considerando el posible potencial de optimización energética
- Identificar las optimizaciones que resultan útiles y son técnicamente posibles

##### Implementación

- Identificar y analizar las aplicaciones de aire comprimido que son relevantes para el consumo energético



Aquí resultan útiles las siguientes 12 medidas de eficiencia energética, que pueden implementarse en todos los equipos de aire comprimido, así como en los equipos con accionamientos eléctricos, y que, como mínimo, deberían comprobarse:

	<b>Desconexión de energía</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Desconexión de los equipos durante las paradas de producción</li> </ul>
	<b>Reducción del peso</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Combinación óptima de tecnologías eléctricas y neumáticas (p.ej. ejes Z neumáticos, pinzas, etc.)</li> </ul>
	<b>Reducción de la longitud de los tubos flexibles (¡iino el diámetro!!)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Utilización de terminales de válvulas descentralizados</li> <li>Tendido óptimo de los tubos flexibles</li> </ul>
	<b>Reducción del nivel de presión</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de la presión de los equipos por sobredimensionamiento</li> <li>Carrera de retroceso con reducción de presión</li> </ul>
	<b>Reducción de pérdidas de presión</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diámetro óptimo de las conducciones, pocas resistencias de línea</li> <li>Reducción de la presión de la red</li> </ul>
	<b>Reducción de fugas</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Localización periódica de fugas, supervisión del estado</li> <li>Uso de componentes adaptados a las condiciones ambientales</li> <li>Montaje correcto de los componentes de aire comprimido</li> </ul>
	<b>Reducción de la fricción</b> (Por norma general, esta medida solo rige para los accionamientos eléctricos)
	<b>Selección de los componentes correctos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Uso de accionamientos de simple efecto en lugar de doble efecto</li> <li>Boquillas de aire de geometría adecuada</li> </ul>
	<b>Control y regulación eficientes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptación de las rampas de movimiento, optimización de los reguladores</li> <li>Alimentación de aire en función del consumo</li> </ul>
	<b>Recuperación de energía</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Recuperación del calor central</li> <li>Uso de niveles de presión en cascada</li> </ul>
	<b>Dimensionamiento correcto</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño óptimo</li> <li>En los accionamientos neumáticos, un tamaño menor</li> <li>Uso de herramientas de ingeniería informática</li> </ul>
	<b>Uso de economizadores de aire</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Tobera de aspiración por vacío con supervisión de la desconexión</li> <li>Uso sincronizado de las boquillas de aire, sin soplado continuo</li> </ul>

## ¿Qué medidas de eficiencia energética son provechosas para cada caso?

No puede hacerse una declaración genérica al respecto. Las medidas deben definirse individualmente para cada planta y empresa.

La utilidad de las medidas depende de varios factores, como el estado del sistema de aire comprimido, la carga normal, etc. En el contexto del análisis de eficiencia de la máquina, estos factores dependen directamente de la aplicación. Además, para determinar la rentabilidad de las medidas de optimización, debe establecerse la relación de cada una de ellas con el consumo total.

Un buen proveedor primero investiga las necesidades y los objetivos del cliente y, una vez los conoce, colabora con él para determinar las 3 mejores medidas.

En Festo, esto se realiza durante la auditoría previa. Durante esta reunión con el cliente, se trabaja para reunir información básica sobre el estado del sistema de aire comprimido y las necesidades del cliente. Entonces, los datos obtenidos se utilizan para continuar trabajando y definir las medidas planificadas.

## ¿Cuánto tardan en amortizarse las medidas de ahorro?

Según nuestra experiencia, los plazos de amortización suelen girar entre uno y dos años. En la mayoría de proyectos de ahorro de energía la inversión quedó amortizada dentro de este periodo de tiempo. El factor determinante para amortizar la inversión es que las medidas identificadas se pongan en práctica a tiempo.

## ¿Cómo se pueden conservar los ahorros obtenidos a largo plazo?

Después de optimizar y modernizar un sistema de aire comprimido, es importante conservar el nivel de eficiencia energética alcanzado y, con ello, evitar que vuelvan a aumentar los costes. Esto puede hacerse de dos maneras.

Por un lado, firmando un contrato de servicio y mantenimiento que incluya, por ejemplo, una localización periódica de fugas, análisis de la calidad del aire comprimido y el mantenimiento de las máquinas. En este contexto, se distingue entre

- mantenimiento preventivo general (apriete de los racores, lubricación)
- la inspección (revisión de daños) y
- el mantenimiento correctivo (sustitución de componentes).

Por otro lado, también existe la posibilidad de que el prestador de servicios enseñe mediante cursos específicos todo lo necesario al personal de la empresa. Esta es la manera de fomentar y garantizar los conocimientos necesarios dentro de la empresa.

### ¿Quién puede implementar las medidas de ahorro?

Para poder aprovechar rápidamente los potenciales de ahorro determinados, se recomienda implementar las medidas identificadas lo antes posible. Porque el ahorro crece con cada día ganado.

Sin embargo, a menudo la empresa no dispone de los recursos necesarios para poder implementar todas las medidas por cuenta propia. Tampoco es raro que el personal no disponga del tiempo o del instrumental de medición y los conocimientos necesarios para ello. Deben interpretarse correctamente los resultados de la medición, pedirse repuestos y encontrar la manera de reemplazar los productos que ya no están disponibles. Es decir, para poder optimizar el ahorro energético, deben tenerse en cuenta muchísimos factores.

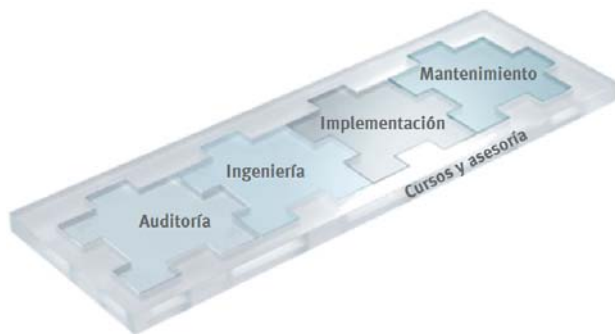


Figura 11: Un conjunto global de servicios para el ahorro de energía en sistemas neumáticos.

En estos casos es muy útil contar con la ayuda de un socio que esté especializado en sistemas de aire comprimido, conozca las nuevas tecnologías y disponga de los conocimientos necesarios. Idealmente sus servicios cubren todas las medidas de ahorro de aire comprimido indicadas anteriormente. En él se incluyen todos los servicios: auditoría, ingeniería, implementación de las medidas de optimización, mantenimiento y formación del personal. El paquete de servicios debería estar certificado, p. ej. con la norma ISO/DIS 11011. Esto hace que las medidas recogidas sean apropiadas y cualificadas para ahorrar energía.

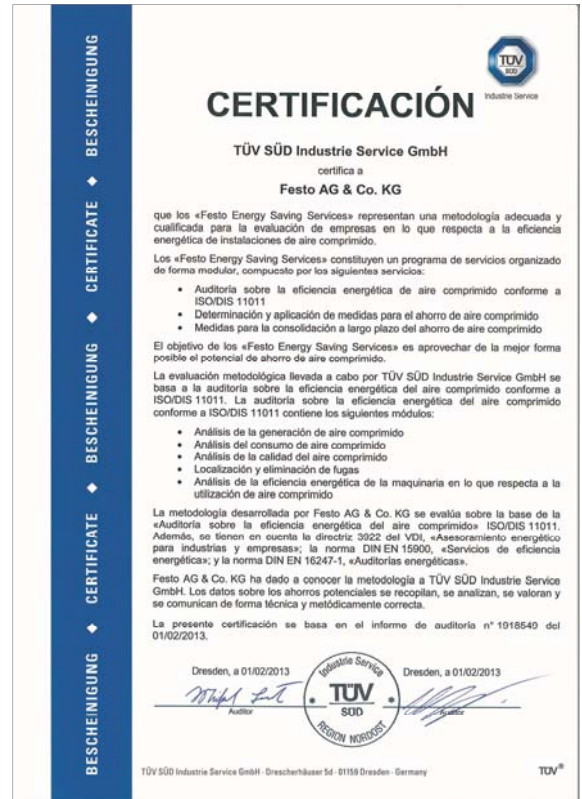


Figura 12: Certificación de TÜV-SÜD para la auditoría de eficiencia energética del aire comprimido en conformidad con ISO/DIS 11011

### Resumen

La optimización energética global del sistema de aire comprimido tiene las siguientes ventajas para la empresa explotadora:

- Reducción de los costes energéticos y de los costes operativos relacionados
- Reducción de los costes de mantenimiento y conservación
- Aumento de la seguridad en los procesos
- Reducción de las paradas imprevistas de las máquinas y los costes derivados

La utilidad de las medidas depende de las particularidades y los objetivos de la empresa explotadora. Numerosos estudios y proyectos de investigación (Green Carbody Technologies 2013, EnEffAH 2012, Compressed Air Systems in the European Union, 2000) demuestran que en especial la localización y eliminación de fugas son procesos simples que contribuyen significativamente a reducir los costes del aire comprimido. Al igual que cualquier otra tecnología, los sistemas de aire comprimido son eficientes cuando se utilizan y conservan correctamente.

## Un ejemplo práctico

### Cliente

Fabricante internacional de productos alimenticios

### Medidas

Localización y eliminación de fugas en la planta

### Situación inicial

Planta:	Aprox. 50.000 m <sup>2</sup>
Potencia instalada de los compresores:	410 kW
Demanda de aire comprimido:	40 m <sup>3</sup> /min
Horas de producción:	8.000 horas/año
Presión de los compresores:	6 bar rel.
Consumo de aire comprimido:	16.475.000 m <sup>3</sup> /año
Precio medio del aire comprimido:	1,8 ct/m <sup>3</sup>
Coste del aire comprimido:	295.000 euros/año

### Resultado de la auditoría del aire comprimido

Fugas identificadas:	296
Pérdida total de aire comprimido:	1,63 mill. m <sup>3</sup> /año
Pérdidas por fugas:	29.265 euros/año
Reducción de las emisiones anuales de CO <sub>2</sub> :	Aprox. 160 t
Coste total del proyecto (incluidos los recambios):	31.000 euros

<b>Reducción de los costes del aire comprimido</b>	<b>10 %</b>
<b>Ahorro en euros</b>	<b>29.265/año</b>
<b>Tiempo de amortización</b>	<b>13 meses</b>

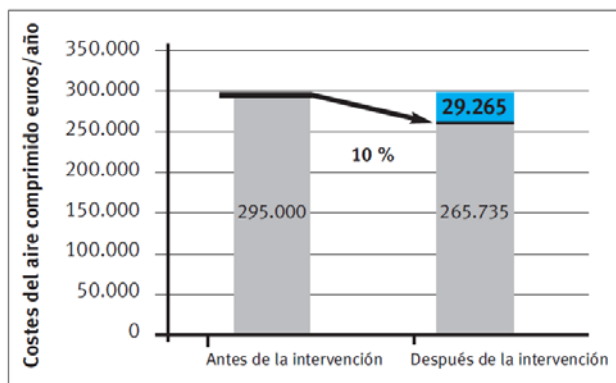


Figura 13: La eliminación de fugas permitió ahorrar un 10% del aire comprimido.

## Bibliografía

- ISO/DIS 11011
- Proyecto EnEffAH "Energieeffizienz in der Produktion im Bereich Antriebs- und Handhabungstechnik" (Eficiencia energética en sistemas de producción, especialidad técnicas de accionamiento y manipulación), (2008-2012);
- Estudio "Compressed air systems in the European Union" (Sistemas de aire comprimido en la Unión Europea) Fraunhofer Institut ISI, 2000
- Proyectos de investigación "Green Carbody Technologies", 2013
- Festo: folleto y página de internet Energy Saving Services [-> link](#)
- Festo: película „Energy Saving Services“ [-> link](#)
- Festo: página de internet „Energieeffizienz@Festo“ [-> link](#)

## Autores

Juergen Billep  
Service Management  
Festo AG & Co. KG, Alemania

Heiko Fleischhacker  
Service Management  
Festo AG & Co. KG, Alemania

### Su persona de contacto local

Consulte la página web de Festo de su país para conocer a su representante.