



# Industria

## Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria



Agencia Andaluza de la Energía  
CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA



# Metodología para la elaboración de auditorías energéticas en la industria

Depósito Legal: \_\_\_\_\_  
SE-656-2011

Dirección Técnica: \_\_\_\_\_  
Agencia Andaluza de la Energía  
Consejería de Economía, Innovación y Ciencia

Redacción: \_\_\_\_\_  
Agencia Andaluza de la Energía

Edición: \_\_\_\_\_  
Servigraf Artes Gráficas

Documento disponible en Internet:  
[www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)

Agencia Andaluza de la Energía:  
Consejería de Economía, Innovación y Ciencia  
Junta de Andalucía  
C/ Isaac Newton, nº 6 - 41092 Isla de la Cartuja. Sevilla  
Tel. 954 78 63 35 - Fax: 954 78 63 50  
[www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)

# Índice

## 9 Introducción a la eficiencia energética

- 10 1.1. El problema energético
- 12 1.2. El uso energético industrial
  - 12 1.2.1. Instalaciones térmicas en la industria
  - 12 1.2.2. Sistema de generación
  - 13 1.2.3. Sistemas de distribución
  - 14 1.2.4. Equipos finales de proceso
- 14 1.3. El consumo y el ahorro energético en la industria

## 17 Metodología de auditorías energéticas

- 18 2.1. Objetivos
- 18 2.2. Alcance
- 19 2.3. Procedimiento de auditoría energética
  - 19 2.3.1. Fase 1. Análisis de la estructura energética
  - 20 2.3.2. Fase 2. Análisis de eficiencia energética
  - 21 2.3.3. Fase 3. Evaluación de medidas de ahorro energético
  - 22 2.3.4. Informe final de la auditoría
  - 22 2.3.5. Resumen de procedimiento de auditoría
- 23 2.4. Tipos de auditorías energéticas en el sector industrial
  - 23 2.4.1. Auditoría energética
  - 24 2.4.2. Diagnóstico energético
  - 24 2.4.3. Prediagnóstico energético
  - 24 2.4.4. Integración energética de procesos:  
Pinch point

## 25 Ahorro energético en sistemas de generación de energía térmica

- 26 3.1. Introducción
  - 26 3.1.1. Fundamentos de la combustión
  - 26 3.1.2. Balance de masa

1

2

3

|   |           |
|---|-----------|
| 3.1.3. Balance de energía   | 27        |
| 3.1.4. Eficiencia energética  | 28        |
| <b>3.2. Medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEE)</b>                              | <b>28</b> |
| 3.2.1. MAEE 1.1: Control de la combustión   | 28        |
| 3.2.2. MAEE 1.2: Minimización de purgas en calderas de vapor                              | 30        |
| 3.2.3. MAEE 1.3: Recuperación de calor residual de gases de salida                        | 31        |
| 3.2.4. MAEE 1.4: Minimizar pérdidas por paredes   | 32        |
| 3.2.5. Tabla resumen de medidas   | 33        |
| <b>3.3. Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “control del aire de combustión”</b> | <b>33</b> |
| 3.3.1. Descripción tecnológica de la medida   | 33        |
| 3.3.2. Estimación de eficiencia energética  | 33        |
| 3.3.3. Evaluación energética  | 37        |

## **Ahorro energético en redes de vapor** **41**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4.1. Introducción</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.2. Medidas de ahorro y eficiencia energética</b>                                    | <b>42</b> |
| 4.2.1. MAEE 2.1: Aislamiento de líneas de condensado y de vapor                          | 42        |
| 4.2.2. MAEE 2.2: Reducción de fugas  | 43        |
| 4.2.3. Tabla resumen   | 44        |
| <b>4.3. Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “aislamiento de redes de vapor”</b> | <b>44</b> |
| 4.3.1. Descripción tecnológica de la medida  | 44        |
| 4.3.2. Estimación de eficiencia energética   | 45        |
| 4.3.3. Evaluación energética   | 47        |
| 4.3.4. Evaluación económica  | 48        |

## **Ahorro energético en sistemas de producción de frío** **51**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>5.1. Introducción</b>                              | <b>52</b> |
| <b>5.2. Medidas de ahorro y eficiencia energética</b> | <b>53</b> |

|           |  |
|-----------|--|
| 53        | 5.2.1. MAEE 3.1: Reducción de la temperatura de condensación                                       |
| 54        | 5.2.2. MAEE 3.2: Aumento de la temperatura de evaporación  |
| 55        | 5.2.3. MAEE 3.3: Regulación de la carga en motores   |
| 55        | 5.2.4. Tabla resumen   |
| <b>56</b> | <b>5.3.</b> Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “reducción de la presión de condensación” |
| 56        | 5.3.1. Descripción tecnológica de la medida  |
| 57        | 5.3.2. Estimación de eficiencia energética   |
| 60        | 5.3.3. Evaluación energética   |
| 60        | 5.3.4. Evaluación económica  |

## **61** Ahorro energético en sistemas de aire comprimido

|           |  |
|-----------|--|
| <b>62</b> | <b>6.1.</b> Introducción   |
| <b>63</b> | <b>6.2.</b> Medidas de ahorro y eficiencia energética  |
| 63        | 6.2.1. MAEE 4.1: Reducción de fugas en las redes   |
| 63        | 6.2.2. MAEE 4.2: Reducción de la presión del aire al mínimo permitido                              |
| 64        | 6.2.3. MAEE 4.3: Alimentación del aire a la menor temperatura posible                              |
| 64        | 6.2.4. Tabla resumen   |
| <b>65</b> | <b>6.3.</b> Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “eliminación de fugas de aire comprimido” |
| 65        | 6.3.1. Descripción tecnológica de la medida  |
| 65        | 6.3.2. Estimación de eficiencia energética   |
| 67        | 6.3.3. Evaluación energética   |
| 67        | 6.3.4. Evaluación económica  |

## **69** Ahorro energético en motores eléctricos

|           |   |
|-----------|---|
| <b>70</b> | <b>7.1.</b> Introducción                              |
| <b>71</b> | <b>7.2.</b> Medidas de ahorro y eficiencia energética |

6

7

|   |           |
|---|-----------|
| 7.2.1. MAEE 5.1: Utilización de motores de alto rendimiento   | 71        |
| 7.2.2. MAEE 5.2: Instalación de variadores de frecuencia  | 73        |
| 7.2.3. Tabla resumen  | 75        |
| <b>7.3. Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “sustitución de motores por otros de alto rendimiento”</b> | <b>75</b> |
| 7.3.1. Descripción tecnológica de la medida   | 75        |
| 7.3.2. Estimación de eficiencia energética  | 77        |
| 7.3.3. Evaluación energética  | 78        |
| 7.3.3. Evaluación económica   | 78        |

# 8

## **Ejemplo de auditoría energética 81**

|  |           |
|--|-----------|
| <b>8.1. Descripción de la industria</b>                    | <b>82</b> |
| 8.1.1. Calderas de producción de vapor                     | 82        |
| 8.1.2. Instalaciones de refrigeración                      | 84        |
| 8.1.3. Sistemas de aire comprimido                         | 86        |
| 8.1.4. Motores eléctricos                                  | 87        |
| <b>8.2. Estructura energética</b>                          | <b>87</b> |
| 8.2.1. Producción anual                                    | 87        |
| 8.2.2. Facturación energética                              | 88        |
| <b>8.3. Proyectos de ahorro</b>                            | <b>89</b> |
| 8.3.1. Descripción de los proyectos                        | 89        |
| 8.3.2. Resumen de proyectos de ahorro e inversión asociada | 91        |

## **Herramientas informáticas para la realización de auditorías energéticas en la industria 93**

## **Subvenciones para la realización de auditorías energéticas en la industria andaluza 97**

# Presentación

El actual modelo energético, basado en generar la energía a cualquier precio para satisfacer una demanda creciente, es insostenible para cualquier sociedad desarrollada. La preocupación por preservar el medio ambiente y aumentar el grado de autoabastecimiento energético, han llevado a los países más desarrollados a orientar sus políticas energéticas hacia una reducción del consumo de energía, incentivando el ahorro y su eficiencia.

Las mejoras en eficiencia energética incluyen todos los cambios que conllevan una reducción de la cantidad de energía para un mismo nivel de actividad, teniendo en cuenta que la satisfacción de los requerimientos de la sociedad actual de llevar asociado el menor costo económico, energético y ambiental posible para nuestro territorio. Esto hace que el concepto de eficiencia energética, además de un carácter tecnológico, tenga también un marcado carácter social y económico, abarcando el funcionamiento del sistema energético y el proceso de desarrollo de un país o región.

En este sentido, la Consejería de Economía, Ciencia y Empresa, a través de la Agencia Andaluza de la Energía, y en el marco del Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013 (PASENER), viene desarrollando diferentes medidas orientadas a la consecución de un nuevo modelo energético más eficiente, diversificado y estable compatible con el desarrollo económico de la región y con la protección del ecosistema natural.

En el PASENER es destacable la elevada importancia que el sector industrial tiene en los objetivos globales de ahorro energético previstos para la región andaluza: Así, el ahorro perseguido en dicho sector para 2013 representa un 24,5% del objetivo global de ahorro energético.

El consumo de energía final en el sector industrial andaluz se situó en 2009 en 4.439,5 ktep (el 66% correspondió a usos energéticos), que representaba el 32% del total de la energía final consumida en Andalucía.

Tradicionalmente este sector ha sido objeto de un gran número de actuaciones de mejora de la eficiencia energética, debido fundamentalmente a la elevada incidencia de la energía en la estructura de costes de la gran mayoría de industrias. Así, muchos centros industriales disponen de técnicos cualificados en esta materia y empieza a implantarse la figura del gestor energético. A pesar de todo ello, el potencial global de ahorro de energía final es todavía importante, superior al 10%.

Cualquier actuación energética en un centro industrial debe comenzar por la realización de una auditoría energética del mismo; es decir, conocer cuándo, cómo, qué tipo y dónde se consume la energía en el centro.

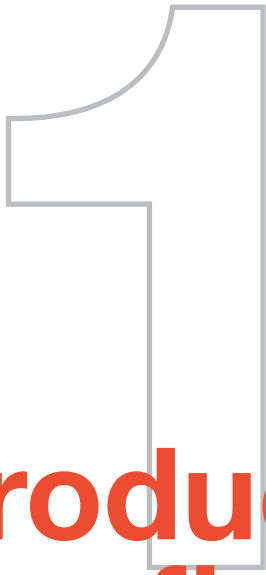


A través de la auditoría se analiza la situación inicial de consumo y de coste de energía del centro; a partir de este conocimiento se evalúan técnica, energética y económicamente las mejoras (medidas de ahorro) que se pueden introducir, estimando el ahorro energético esperado, el ahorro económico asociado, el nivel de inversión y sus parámetros de rentabilidad.

La realización de estos estudios energéticos permitirá planificar adecuadamente las actuaciones a acometer en el centro de forma que se obtengan las mayores cotas de rentabilidad energética, económica y medioambiental para un nivel de inversiones determinado.

En este sentido, el PASENER, dentro de su Programa “Competitividad energética” y en la línea de actuación de “adopción de criterios de gestión eficiente e incorporación de tecnologías renovables a la empresa” recoge como medida de actuación el impulso a la realización de auditorías energéticas en las empresas del sector industrial.

Con el diseño de la metodología de auditoría energética propuesta en este documento se pretende establecer una base común de referencia para el análisis y cuantificación de las medidas de ahorro energético incluidas en los estudios que se realicen en el sector industrial, garantizando además la eficacia en los resultados derivados de su implementación.

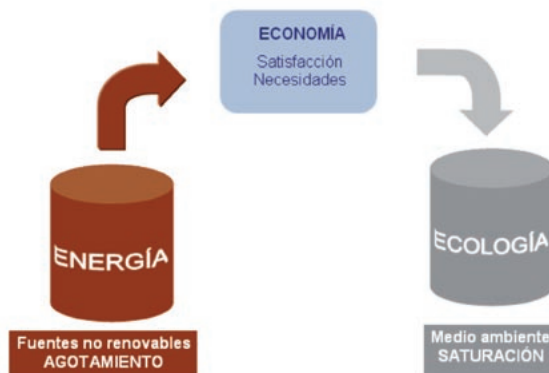


# **Introducción a la eficiencia energética**

## 1.1. El problema energético

El problema energético y medioambiental existente a nivel mundial, que se manifiesta a través de un horizonte finito y cercano para los combustibles no renovables y el calentamiento del planeta a través del efecto invernadero, ha llevado a las diferentes administraciones a implementar políticas energéticas dirigidas a fomentar el uso racional de la energía y la eficiencia energética. Estas propuestas redundan en un beneficio para el medioambiente y para la economía nacional, ya que se reduce la factura energética y, con ello, la intensidad energética del sistema productivo, al tiempo que se reduce la emisión de contaminantes que el consumo de los combustibles fósiles genera.

Fig. 1: Esquema resumen del problema energético



Así, la estrategia global y local en el ámbito energético a desarrollar en cualquier país o región, debe primar la eficiencia energética, por su efecto favorable sobre el medio ambiente y su incidencia en la macroeconomía del país y en la economía de los usuarios.

Fruto de esa estrategia, desde la administración andaluza, se ha impulsado la eficiencia y el ahorro energético como pilar básico del nuevo modelo energético que el Plan Andaluz de Sostenibilidad Energética 2007-2013, PASENER, propone para la racionalización del consumo energético de la comunidad andaluza.

En concreto, a finales de 2009 las actuaciones puestas marcha en la región andaluza habían propiciado un ahorro de energía primaria en la región andaluza de 480.893 tep/año (2,4% del consumo de energía primaria de Andalucía en el 2006, 19.958 ktep/año).

Las auditorías energéticas constituyen un instrumento de primer orden para hacer posible que el potencial ahorro energético del sector industrial de nuestra región pueda ser puesto en valor. En el sector industrial, estas auditorías persiguen un triple objetivo:

1. Adecuar los consumos reales de la planta a los consumos nominales, revisando los equipos, los procesos y garantizando un buen mantenimiento de las instalaciones.
2. Reducir los consumos nominales, introduciendo nuevas tecnologías que aumenten la eficiencia del consumo energético.

3. Acercar los consumos energéticos de la planta a los mínimos termodinámicamente admisibles, minimizando la demanda del proceso mediante el aprovechamiento de corrientes residuales y la optimización de la operación de los servicios energéticos.

Desde este enfoque de ahorro y eficiencia energética, la auditoría es una herramienta eficaz que permite identificar los escenarios donde el consumo energético se realiza de forma ineficiente, estableciendo además las posibles mejoras de índole técnica y organizativa encaminadas a la mejora de la economía energética del sistema sobre el que se aplica.

De lo dicho anteriormente, puede deducirse que la auditoría energética es la herramienta estratégica más adecuada para abrir el sector industrial al ahorro y la eficiencia energética.

La eficiencia energética, el ahorro y la diversificación de energía, el aprovechamiento de energías residuales y de las energías renovables, tienen como principal objetivo obtener un rendimiento energético óptimo para cada proceso o servicio en el que su uso sea indispensable, sin que ello signifique una disminución de la productividad o de la calidad o del nivel de confort del servicio. El término óptimo implica, pues, un compromiso entre los aspectos energéticos, económicos y de productividad o de prestación de un servicio.

Para ello, en una auditoría se evalúa energéticamente el funcionamiento de la instalación, se analizan las posibles mejoras del proceso o equipos y se determinan las inversiones a realizar y sus periodos de retorno, proponiendo la implantación de aquellas medidas de ahorro y eficiencia energética más interesantes.

Un efecto importante de la consiguiente implementación de las mejoras detectadas en la auditoría sería la reducción del consumo energético logrado, la reducción de la factura energética y la reducción de las penalizaciones por efluentes contaminantes y emisiones, en el caso de que las hubiera.

Además, dado el continuado aumento de los costes, tanto ambientales como de los precios energéticos, los periodos de amortización de las auditorías energéticas y de las inversiones que de ellas se desprenden serán cada vez menores, aumentando por tanto el interés de este tipo de estudios, no solo energético sino también económico.

Por todo ello, desde la Agencia Andaluza de la Energía se ha querido realizar esta guía metodológica para la realización de auditorías energéticas en los centros industriales con la finalidad de establecer un documento de referencia para el análisis y cuantificación de las medidas de ahorro energético en el sector industrial. De esta forma se garantiza un marco adecuado para optimizar las inversiones en ahorro energético, inversiones que podrán ser incentivadas a través de la Orden de 4 de febrero de 2009. La publicación de este documento está en línea con otras actuaciones promovidas por la Agencia Andaluza de la Energía para optimizar el consumo energético en el sector industrial, como el desarrollado una herramienta accesible a través de su web para la evaluación de medidas de ahorro energético en los diferentes procesos industriales.

Esta publicación se enmarca dentro del Convenio Marco de Colaboración, de 26 de febrero de 2008, entre la Agencia Andaluza de la Energía perteneciente a la Consejería de Economía, Innovación, y Ciencia, y el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía, organismo dependiente del Ministerio de Industria Turismo y Comercio. Este Convenio tiene como objetivo el desarrollo del Plan de Acción 2008-2012 de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012 en Andalucía. Las actividades que se fomentan mediante el citado Convenio, reconocen en el ahorro y la eficiencia energética un instrumento de crecimiento económico y bienestar social coherente con el respeto medioambiental.

## 1.2. El uso energético industrial

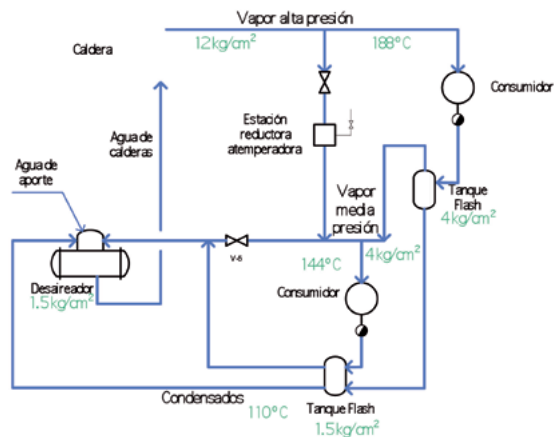
### 1.2.1. Instalaciones térmicas en la industria

La industria requiere de una gran cantidad de energía térmica y eléctrica para llevar a cabo sus procesos productivos.

La energía se utiliza como un recurso necesario e insustituible para elaborar los productos con las calidades exigidas. Por tanto, como cualquier otro servicio habrá que adquirirlo o transformarlo, adecuándolo a las necesidades de su utilización, transportarlo a los puntos de consumo y, por último, posibilitar su uso final por los consumidores. Además, puesto que la energía no se destruye, habrá que recuperar la energía residual que quede tras su uso allí donde sea técnicamente factible y económicamente viable.

En el caso de la energía térmica, ésta es llevada a los procesos por medio de los fluidos caloportadores, que tomando la energía térmica del combustible, a través en el sistema de generación, la transportan y transfieren para su consumo en los equipos de proceso.

Fig. 2: Esquema de instalación de vapor

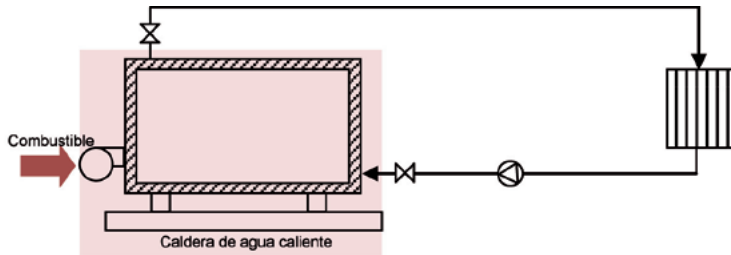


### 1.2.2. Sistema de generación

La energía llega a la planta en forma de combustible líquido, sólido, gaseoso o eléctrico y se consume directamente en los equipos de generación térmica:

- Calorífica: Si en ellos se produce un calentamiento de fluidos caloportadores, como por ejemplo las calderas de vapor, de agua sobrecalentada y agua caliente o los hornos de aceite térmico.
- Frigorífica: En aquellos sistemas que realizan el enfriamiento de fluidos caloportadores, como por ejemplo las torres de refrigeración o las plantas frigoríficas.

Fig. 3: Sistema de generación

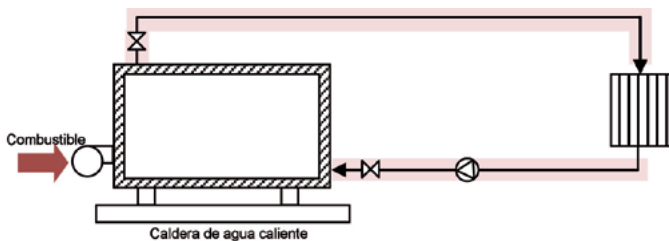


Un estudio energético que mejore la eficiencia de estos sistemas, conllevará normalmente un gran ahorro energético en la fábrica, debido al elevado consumo de energía que se realiza en ellos.

### 1.2.3. Sistemas de distribución

Los equipos de generación producen el calentamiento o enfriamiento de fluidos caloportadores (agua, vapor, aceite térmico, etc.) que han de ser distribuido en la fábrica hasta los puntos de consumo finales.

Fig. 4: Sistema de distribución



El transporte de estos fluidos requiere el uso de sistemas de bombeo (líquidos), ventilación (gases) o compresores (aire comprimido). El transporte se realiza mediante redes hidráulicas cuya configuración depende del tipo de energía transportada.

La importancia en el mantenimiento de estas redes de distribución es crucial, pues sus ineficiencias implican aumentos en el consumo de energía, dado que son directamente pérdidas de esa energía ya transformada.

Las características más deseables en un fluido caloportador son las siguientes:

- Que posea un alto calor específico
- Que tenga altos coeficientes de transferencia ( $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ )
- Que se consiga a un bajo precio
- Que sea estable y de larga duración

Tabla 1. Fluidos caloportadores por temperatura de utilización

| Temperatura (°C) | Fluido caloportador   |
|------------------|---|
| > 400°C          | Gases de combustión, vapor recalentado, aire, sales o metales fundidos                    |
| 200 – 400 °C     | Gases de combustión, vapor recalentado, aire, fluidos térmicos (caloportadores orgánicos) |
| 90 – 200°C       | Vapor saturado, agua sobrecalentada, aire   |
| 0 – 90°C         | Agua, aire  |
| -30 – 0°C        | Salmueras, glicoles, freones, NH <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>                           |
| -100 – (-30)°C   | Metano, propano   |

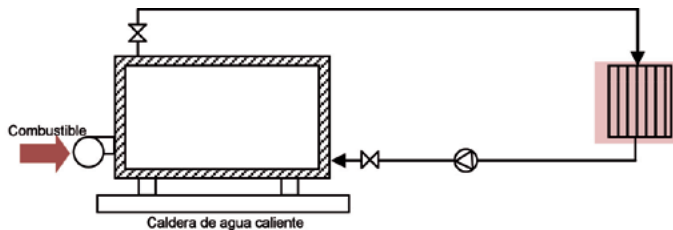
### 1.2.4. Equipos finales de proceso

Se podría entender por equipos de proceso los consumidores finales directos de energía, los cuales la requieren para realizar transformaciones sobre el producto procesado (reactores, hornos de proceso, secaderos, columnas de destilación, evaporadores de único o múltiple efecto) o su calentamiento o enfriamiento (intercambiadores de calor).

La capacidad de actuación sobre los equipos de proceso final es muy variable, ya que en ocasiones puede estar restringida (reactores, columnas), o puede ser más accesible como ocurre en el caso de hornos y secaderos.

Los requerimientos térmicos de los equipos de proceso, satisfechos a través de la red de distribución (vapor, agua caliente o fría), podrían serlo mediante el uso de corrientes residuales del proceso, disminuyendo así la demanda energética.

Fig. 5: Equipos finales de proceso



## 1.3. El consumo y el ahorro energético en la industria

El consumo energético de cualquier equipo, sistema o fábrica puede calcularse de la siguiente manera:

$$C = \frac{D}{\eta}$$

Dónde: C es el consumo energético / D es la demanda energética /  $\eta$  el rendimiento energético.

La demanda de energía de la instalación depende fundamentalmente de la propia configuración del proceso, de la tecnología empleada, de la intensidad de la producción existente, de la recuperación de energía en las corrientes residuales, de las condiciones ambientales, etc. El rendimiento depende, entre otros, del sistema,

del estado de carga de la instalación, etc. Por tanto, se podría decir que existen diversas formas de afrontar el ahorro energético.

La primera, consistiría en aumentar el rendimiento de los equipos de generación térmica y frigorífica, de la red de distribución, así como de los propios equipos de proceso, de forma que su eficiencia alcance valores cercanos a los nominales con los que fueron inicialmente diseñados. De esta forma, se incrementaría el denominador de la expresión anterior, disminuyendo con ello el consumo energético.

La segunda, se centraría en la demanda del proceso,  $D$ , disminuyéndola, es decir, aumentando la recuperación energética del proceso para disminuir los requerimientos externos de energía (vapor, agua caliente, fría, etc.). En este caso, se haría necesario el empleo de equipos de intercambio para su realización.

Por último, se pueden modificar las estrategias de operación de los sistemas de generación (cogeneración, calderas) y distribución (laminación de vapor, entrada/salida de turbinas de arrastre de motores, retorno de condensado, etc.) maximizando el rendimiento del conjunto.

Tradicionalmente las auditorías energéticas han centrado sus esfuerzos en aumentar o mejorar la eficiencia energética de los generadores térmicos y equipos de proceso (calderas, hornos, secaderos, motores eléctricos, etc.) y, en ocasiones, de las redes de distribución, sin seguir, no obstante, una metodología que permita abordar de forma estructurada cada uno de estos aspectos, mediante una secuencia que garantice que se mejora de forma conjunta la energética de la instalación sin soslayar ninguno de sus aspectos esenciales.







# Metodología de auditorías energéticas

## 2.1. Objetivos

El objetivo de la auditoría energética es disminuir el consumo energético de la industria, analizando los factores y causas que merman el rendimiento de los diversos subsistemas energéticos que la componen. Para ello, será necesario realizar un análisis detallado de la industria, su proceso productivo y el uso global de la energía. El resultado serán medidas de ahorro energético encaminadas a disminuir el consumo y que, englobando los subsistemas energéticos, mejorarán la eficiencia energética de la planta.

## 2.2. Alcance

Al abarcar todo el uso energético de la industria, la auditoría tendrá que analizar:

### 1. La industria

- Actividad de la industria y análisis del proceso productivo.
- Descripción de los sistemas de generación, distribución y consumo de energía.
- Consumos energéticos y producción de los dos últimos años.
- Distribución del consumo energético por tipos de energías y costes.



Vista general de refinera de petróleo

### 2. La eficiencia energética

- Análisis energéticos de los generadores térmicos y frigoríficos.
- Análisis energéticos de los grandes consumidores finales.
- Análisis energético de los sistemas de distribución de energía.

### 3. Las medidas de ahorro energético (MAEE)

- Medidas de ahorro en los equipos de generación de energía.
- Medidas de ahorro en grandes consumidores.
- Medidas de ahorro en los sistemas de distribución de energía.
- Análisis económico pormenorizado de las medidas.

## 2.3. Procedimiento de auditoría energética

La auditoría energética divide su desarrollo en cuatro fases que se describen a continuación.

### 2.3.1. Fase 1. Análisis de la estructura energética

#### 1. Objetivo

El objetivo de esta primera fase es conocer cómo se recibe la energía en la fábrica y cómo se transforma, distribuye y se consume en los equipos finales de proceso. El nivel de profundidad al que se puede llegar en su conocimiento, dependerá de la monitorización energética existente de los diferentes procesos y fases.

#### 2. Actividad industrial y proceso productivo

El primer paso será el conocimiento de la actividad industrial a auditar, seguido de un detallado estudio del proceso productivo en cuestión, poniendo especial énfasis en los procesos consumidores de energía. Para ello se contará con la información acerca del proceso productivo facilitada por la fábrica, identificando los generadores térmicos y frigoríficos, equipos consumidores de energía de cada planta y los sistemas de distribución de energía. Igualmente se requiere conocer la operación anual de la planta y la producción obtenida en el periodo de tiempo para el que se recaba la información de consumos energéticos (entre 1 y 2 años).



Vista de caldera de vapor de una fundición

En esta fase se podrán utilizar tablas de tomas de datos. Deberán recogerse el mayor número de datos de los reflejados en ellas, además de otros, como la facturación energética y los diagramas de proceso que se solicitarán directamente a la fábrica.

#### 3. Estructura del consumo energético

El objetivo de la estructura energética es cuantificar los consumos energéticos de la fábrica, identificando el correspondiente a las diversas plantas, servicios y equipos e identificando las zonas de mayor importancia desde el punto de vista energético.

Tabla 2. Formulario de recogida de datos para un motor eléctrico

|                         | Motor 1 | Motor 2 | Motor 3 | Motor 4 |
|-------------------------|---------|---------|---------|---------|
| Tipo de motor           |         |         |         |         |
| Año de fabricación      |         |         |         |         |
| Fabricante              |         |         |         |         |
| Potencia eléctrica (kW) |         |         |         |         |
| Tipo de arranque        |         |         |         |         |
| Frecuencia (Hz)         |         |         |         |         |
| Funcionamiento (h/d)    |         |         |         |         |
| Funcionamiento (d/año)  |         |         |         |         |

La contabilidad energética se realiza a partir de la facturación energética y de los datos medidos, así como del análisis del proceso productivo. Se analizarán los datos de los equipos de medida existentes y se estudiarán las posibles desviaciones entre la facturación y el consumo medido, a este respecto, se tendrán en cuenta las consultas al personal de fábrica.

#### 4. Informe de estructura energética

Conocido el proceso productivo y obtenida la estructura energética del mismo, deberá culminarse esta fase con la realización de tablas y diagramas de flujo de energía cuantificados que reflejen los resultados obtenidos en los diferentes niveles de fábrica y que se hayan podido analizar con la información suministrada.

### 2.3.2. Fase 2. Análisis de eficiencia energética

#### 1. Eficiencia energética de generadores y consumidores finales

Un buen desarrollo de la fase anterior permite conocer, al nivel de detalle adecuado, el proceso productivo, la estructura del consumo energético y los posibles puntos dónde centrar los esfuerzos para lograr el mayor ahorro energético. Para esto último, se realizará el análisis de eficiencia energética en los equipos y sistemas de la planta que, en la fase anterior, han presentado potencial de ahorro energético.

**El análisis de eficiencia energética requiere la realización de balances de materia y energía** en los equipos o sistemas, calculando el rendimiento y valorando las pérdidas energéticas que tienen lugar. Los resultados de los balances de materia y energía dependerán de la fiabilidad de los datos de partida y en la mayoría de los casos será necesario realizar medidas in situ.

Para identificar posibilidades de ahorro, se estudiarán las siguientes posibilidades de mejora energética en equipos:

1. Disminución de pérdidas energéticas
2. Aprovechamiento de energías residuales
3. Modificación de las condiciones de operación para mejorar la eficiencia del equipo.
4. Mejora en el mantenimiento de los equipos.
5. Cambio de la tecnología existente por otra más eficiente.

En esta fase se deben recoger todas las alternativas posibles de ahorro energético, clasificadas según los niveles anteriores, sin entrar en detalle sobre su viabilidad económica.



Vista de horno de proceso de una industria petroquímica

## 2. Eficiencia energética de los sistemas de distribución de energía

Del mismo modo que se han analizado los equipos energéticos, tanto generadores como consumidores, se deberá realizar el análisis de eficiencia de los distintos servicios energéticos o sistemas de distribución de energía a los consumidores finales.

Las propuestas de mejora energética irán asociadas a la disminución de las pérdidas o a la mejora de las condiciones de operación de la red de distribución, y se distribuirán entre estos tres grupos:

1. Modificación de las condiciones de operación para eliminar las pérdidas.
2. Mejora en el mantenimiento de redes de distribución.
3. Aprovechamiento de energías residuales.

### 2.3.3. Fase 3. Evaluación de medidas de ahorro energético

De todas las medidas propuestas por el auditor deben seleccionarse para el estudio aquellas que sean técnica y económicamente viables. Esta selección debe realizarse por el auditor con la colaboración de los responsables de la fábrica. Una vez seleccionadas todas las posibles alternativas de ahorro energético, se analizarán las mismas según la metodología que se describe a continuación.

Las medidas de ahorro se pueden clasificar en:

1. Mejora de eficiencia en el consumo energético de los equipos.
2. Mejora de eficiencia en la distribución de la energía.
3. Recuperación energética.

Para cada medida se debería evaluar:

1. Ahorro energético.
2. Ahorro económico.

3. Reducción de impacto ambiental.
4. Inversión necesaria.
5. Período de amortización.
6. Análisis de sensibilidad a los precios energéticos.

### 1. Evaluación del ahorro energético

Para calcular el ahorro energético de la medida propuesta se deberá realizar, para las nuevas condiciones resultantes de la implantación de la medida, los nuevos balances de materia y energía, calculándose el nuevo consumo energético del equipo o sistema energético. Este debe compararse con el de la situación actual de la fábrica, obteniendo de este modo el ahorro potencial de la medida.

### 2. Análisis económico

Con la inversión requerida y el ahorro económico obtenido, se calcula el período de amortización de dicha medida. Con estos valores, el auditor puede establecer un plan de implementación de las medidas, dónde, por ejemplo, con el ahorro económico de las medidas que se implanten se consiga llevar a cabo la inversión en otras medidas.

Es interesante hacer notar que, en muchas industrias, la capacidad de producción es variable. Teniendo en cuenta que los ahorros que se logren dependerán en gran medida del nivel de producción sobre el que se realicen los balances de materia y energía, sería conveniente acordar con el personal técnico de la industria la producción de referencia que se empleará en los análisis, de forma que los resultados que se obtengan de la auditoría sean representativos del proceso industrial.

#### 2.3.4. Informe final de la auditoría

La auditoría energética concluirá con un informe exhaustivo y concreto en el que se expongan cada uno de los pasos realizados en el proceso de la auditoría. Se pondrá especial énfasis en describir claramente los siguientes aspectos.

1. Descripción de la fábrica
2. Estructura energética
3. Toma de datos
4. Análisis de eficiencias
5. Medidas de ahorro
6. Evaluación económica
7. Plan de implantación de medidas.
8. Anexos.

#### 2.3.5. Resumen de procedimiento de auditoría

A continuación se resumen los pasos a seguir en cada una de las fases descritas anteriormente y que constituyen el procedimiento de auditoría energética:

### 1. Fase 1

1. Recogida de información previa a la visita.
2. Análisis del proceso productivo.
3. Visita a las instalaciones.
4. Petición adicional de información.
5. Informe de la estructura energética.
6. Análisis de la monitorización existente.

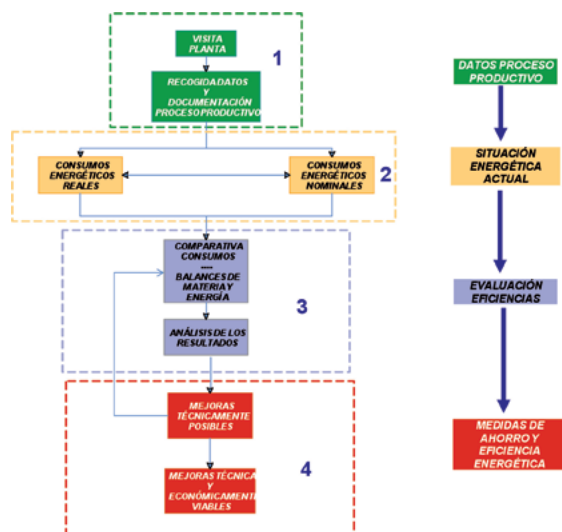
### 2. Fase 2

7. Visita a las instalaciones y toma de datos de los equipos.
8. Balances de materia y energía. Esquemas, tablas y cálculo de rendimientos.
9. Análisis de eficiencia.
10. Listados de propuestas de mejora energética.

### 3. Fase 3

11. Selección de las medidas de ahorro energético.
12. Evaluación de ahorro energético y económico de las medidas seleccionadas.
13. Informe de auditoría energética.

Fig. 6: Esquema del procedimiento de auditorías.



## 2.4. Tipos de auditorías energéticas en el sector industrial

### 2.4.1. Auditoría energética

Con este nombre se hace referencia al estudio energético de la industria con el nivel más detallado posible. Se caracteriza principalmente por su actuación sobre la eficiencia energética, proponiendo medidas de mejora



de la misma. Para ello, se deberá analizar energéticamente los tres subsistemas ya mencionados: Generación, transporte y consumo final en proceso.

### **2.4.2. Diagnóstico energético**

Se reserva este nombre para un estudio energético de un grado de complejidad inferior a la auditoría energética. Se diferenciará de la auditoría en la profundidad del análisis energético, así como en el detalle de las medidas de ahorro seleccionadas y el estudio de inversiones aportado.

### **2.4.3. Prediagnóstico energético**

El prediagnóstico energético también intentará disminuir el consumo de energía mediante la corrección de la eficiencia energética. En este caso, sólo atenderá, y de manera somera, al sistema de generación térmica y frigorífica y a los grandes equipos consumidores. El objetivo de este estudio es detectar las posibles ineficiencias energéticas, identificando los focos de ahorro potencial de la fábrica auditada. Normalmente se realiza mediante un análisis de la facturación energética, llevándose a cabo alguna visita a las instalaciones y manteniendo reuniones con personal de fábrica.

### **2.4.4. Integración energética de procesos: Pinch point**

Este tipo de estudio energético se centra sobre la demanda energética. En esencia, la integración de procesos permite diseñar y modificar las redes de intercambio existentes en la instalación, con el objeto de optimizar la recuperación energética entre las corrientes calientes y frías del proceso. Con estas técnicas de reducción de la demanda, se consigue obtener ahorros energéticos entre el 10 y el 35% de su factura actual, dependiendo del sector industrial.

3

**Ahorro energético  
en sistemas de  
generación de  
energía térmica**

## 3.1. Introducción

### 3.1.1. Fundamentos de la combustión

Se entiende como combustión la reacción rápida de oxidación que tiene lugar entre el combustible y el oxígeno del aire y en la que se libera una gran cantidad de calor.

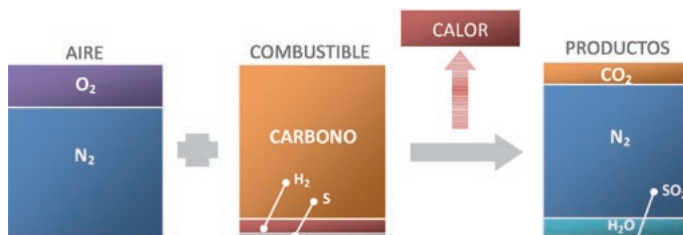
Los combustibles están compuestos fundamentalmente por carbono, hidrógeno y azufre, junto con pequeñas trazas de otros elementos. Pueden estar en forma sólida, líquida o gaseosa,

El aire, aparte del oxígeno, contiene cantidades importantes de nitrógeno (79%). El nitrógeno no tiene ningún papel activo en la combustión.

Se dice que la combustión es completa cuando todos los productos resultantes de la reacción están en el máximo grado de oxidación posible.

Cuando se aporta el oxígeno (o aire) en la cantidad estrictamente necesaria para la combustión completa del combustible, esta se denomina combustión estequiométrica.

Fig. 7: Combustión completa y estequiométrica



Se dice que la combustión es incompleta cuando no todos los productos resultantes de la reacción están en el máximo grado de oxidación posible.

Tabla 3. Reacciones básicas de oxidación de los componentes del combustible

| Elemento                    | Reacción de oxidación                    | Energía liberada |
|-----------------------------|--|------------------|
| Carbono (C)                 | $C + O_2 \rightarrow CO_2$               | 32,8 (MJ/kg)     |
| Carbono (C)                 | $C + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow CO$     | 9,3 (MJ/kg)      |
| Hidrógeno (H <sub>2</sub> ) | $H_2 + \frac{1}{2} O_2 \rightarrow H_2O$ | 142 (MJ/kg)      |
| Azufre (S)                  | $S + O_2 \rightarrow SO_2$               | 165 (MJ/kg)      |

En la práctica, se trata de conseguir combustiones completas y para ello se aporta un exceso de aire para favorecer la reacción de combustión.

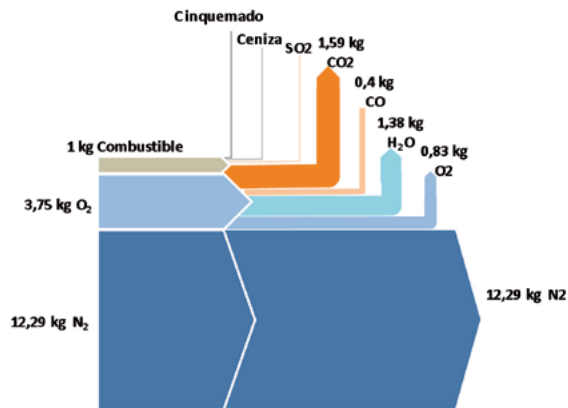
### 3.1.2. Balance de masa

El balance de masa en equipos de generación de energía térmica, permite conocer los caudales y composición de los elementos de la reacción que tiene lugar en ellos. Será el paso previo al balance de energía y cálculo de

rendimientos. Además, servirá para el dimensionado de los equipos auxiliares, como son: Ventiladores, quemadores, chimeneas. También permitirá establecer un control sobre aquellos parámetros que afectan a la combustión.

La composición elemental del combustible representa los pesos de cada elemento que forman parte del combustible: C, H, O, N, H<sub>2</sub>O y cenizas, expresados en kilogramos de cada uno de ellos por kilogramo de combustible.

Fig. 8: Ejemplo de balance de masa de una combustión incompleta con exceso de aire.

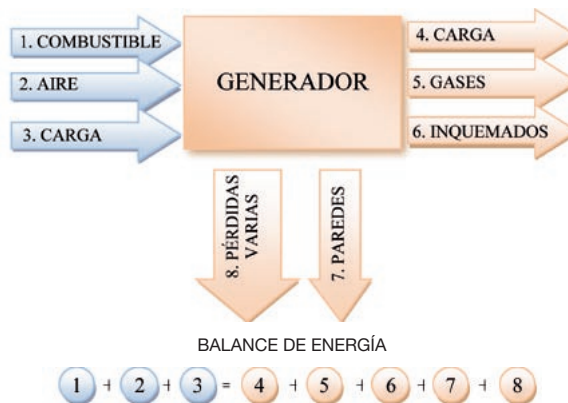


### 3.1.3. Balance de energía

En aplicación del primer principio de la termodinámica, se establecen los balances de calor como la igualdad entre la suma de los calores entrantes, más los calores netos de la reacción, y la suma de los calores salientes, dentro de los límites de un generador de calor.

Las corrientes que intervienen se encuentran señaladas en el esquema que se muestra a continuación:

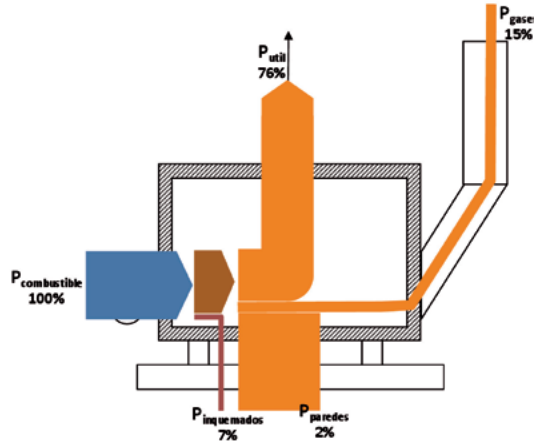
Fig. 9: Esquema de corrientes para el balance de energía



La generación de energía térmica, a través de la combustión en calderas, hornos y secaderos, tiene asociadas una serie de pérdidas, tal y como se muestra en la siguiente figura, que son las siguientes: Pérdidas por inquemados, pérdidas por paredes y pérdidas en gases.

La potencia transferida a la carga, que será el calor a la salida menos el calor a la entrada, se denominará potencia útil del equipo.

Fig. 10: Ejemplo de Balance de energía en una caldera.



### 3.1.4. Eficiencia energética

El rendimiento de un equipo de generación de calor (caldera, horno o secadero) es el resultado de dividir la potencia útil por la cantidad de calor aportado; se puede evaluar de dos maneras:

1. El método directo. A partir de mediciones directas.

$$\eta = \frac{P_{\text{útil}}}{P_{\text{aportada}}}$$

2. El método indirecto. A partir del balance de energía, evaluando solamente las pérdidas como un porcentaje de la potencia aportada por el combustible.

$$\eta = 1 - \frac{P_{\text{pérdidas}}}{P_{\text{aportada}}}$$

El rendimiento convencional se calcula a carga nominal. En operación el rendimiento máximo representa el 75-80% de la carga nominal. A cargas parciales el rendimiento disminuye debido a que la regulación adecuada del aire de combustión es difícil de conseguir a reducidas cargas de trabajo y a que la pérdida de calor al ambiente es prácticamente invariable a cualquier carga. Esto no ocurre en el caso de calderas de baja temperatura o de condensación, donde el rendimiento a carga parcial es mayor que el nominal.

## 3.2. Medidas de ahorro y eficiencia energética (MAEE)

### 3.2.1. MAEE 1.1: Control de la combustión

1. Descripción de la medida

El control de la combustión es importante en cualquier generador que use combustible fósil. Persigue dos objetivos: Liberar la mayor cantidad de energía posible del combustible, provocando una combustión

completa con el adecuado exceso de aire, y minimizar la cantidad de energía perdida con los humos procedentes de la combustión.

El factor más determinante para una buena combustión es el exceso de aire. Existe un mínimo teórico necesario para la combustión completa, que normalmente se supera en una cantidad que marca la buena práctica de estos equipos y que depende del tipo de combustible. El exceso de aire debe ser controlado, pues a medida que crece, y una vez conseguida la combustión completa, su aumento sólo provocaría pérdidas crecientes de energía a través de los gases expulsados.

En la siguiente tabla se muestra el porcentaje de exceso de aire y el contenido de oxígeno óptimo en los gases de combustión, en función del tipo de combustible. Es necesario hacer notar que estos valores son aproximados, y que cada tipología de equipo de generación tiene sus propios parámetros que deben ser consultados por el auditor.

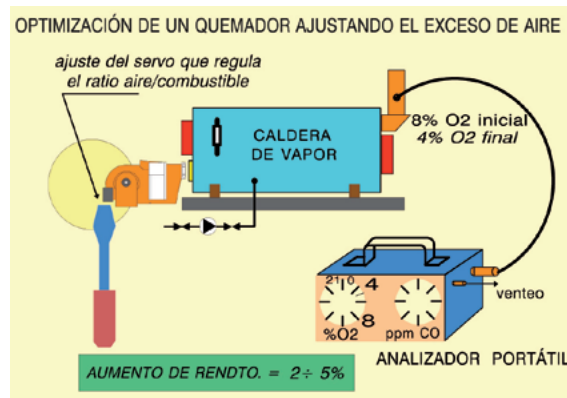
Tabla 4. Exceso de aire recomendado para distintos combustibles

| Combustible     | Exceso de aire (%) |        | O <sub>2</sub> en gases (%) |        |
|-----------------|--------------------|--------|-----------------------------|--------|
|                 | Mínimo             | Máximo | Mínimo                      | Máximo |
| Gas natural     | 10                 | 15     | 2                           | 2,7    |
| Fuel oil ligero | 12,5               | 20     | 2,3                         | 3,5    |
| Fuel oil pesado | 20                 | 25     | 3,3                         | 4,2    |
| Carbón          | 30                 | 50     | 4,9                         | 7      |

## 2. Implementación tecnológica

El control de la combustión en calderas de pequeña potencia se suele realizar analizando los gases de combustión con una periodicidad determinada y ajustando el quemador y los ventiladores de aire primario y secundario hasta obtener los parámetros de concentración de gases deseados. En ocasiones, estos análisis lo realizan el personal de mantenimiento de la propia fábrica o se contrata a una empresa externa.

Fig. 11: Ajuste del exceso de aire en el quemador



En calderas de gran potencia y en hornos de proceso, el control se suele realizar en continuo. Para ello, se instalan analizadores de oxígeno en la salida de humos de combustión, midiéndose el oxígeno contenido en estos, y en función de ello, se regulan la cantidad de aire y de combustible que entra al quemador. Junto al

analizador de oxígeno, se puede instalar un analizador de monóxido de carbono (CO), ya que la presencia de este es un indicativo de que la combustión se está llevando a cabo de manera incompleta.

El controlador recibe la señal del analizador y, en función de la diferencia entre ésta y la señal de referencia, actúa sobre la regulación del aire. El punto de referencia dado al controlador es una función de la carga de la caldera. Normalmente se encuentra en torno al 10-15% de exceso de aire para cargas pequeñas y al 2-3% para carga máxima.

### 3.2.2. MAEE 1.2: Minimización de purgas en calderas de vapor

#### 1. Descripción de la medida

La purga de la caldera persigue mantener la concentración de sólidos dentro de unos márgenes, ya que estos se van concentrando a medida que el agua se evapora. Para ello, es necesario extraer el agua con una elevada concentración de sólidos disueltos y en suspensión, y sustituirla por agua de alimentación. La purga se hace necesaria para evitar que los sólidos precipiten y formen depósitos que puedan dificultar la transferencia de calor a través de las superficies, disminuyendo con ello la eficiencia en la generación de vapor. La purga debe ser la mínima necesaria, pues cualquier exceso, además de un mayor consumo de agua, supone una pérdida energética y económica ya que el agua de alimentación debe ser calentada, tratada y bombeada.

#### 2. Implementación tecnológica

La cantidad óptima de purga se determina en función de varios factores como son el tipo de caldera, la presión de operación, el tratamiento del agua y la calidad del agua de alimentación.

Se deberá reducir el caudal de purga hasta la cantidad óptima. La siguiente gráfica muestra la relación entre el porcentaje de purga y el porcentaje de energía de combustible perdida.

Se observa que a mayor presión de generación de vapor la pérdida de energía asociada a la purga es más elevada.

Fig. 12: Detalle de purgador de fondo

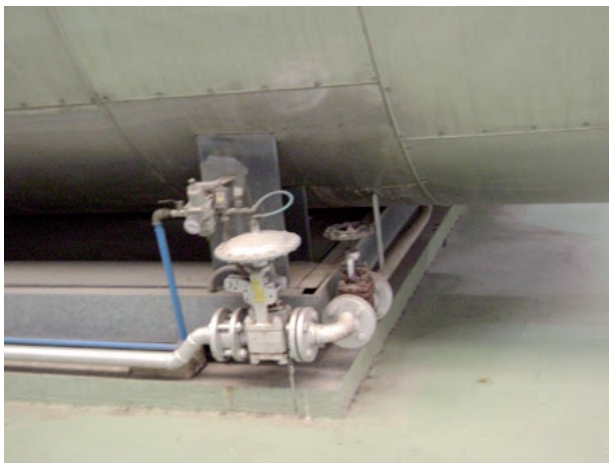
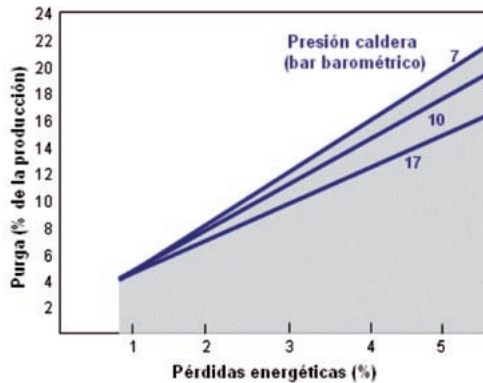


Fig. 13: Pérdida de energía asociada a la purga



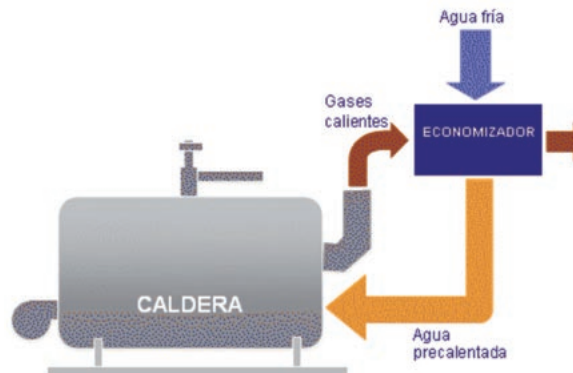
### 3.2.3. MAEE 1.3: Recuperación de calor residual de gases de salida

#### 1. Descripción de la medida

##### 1.1. Economizador: Pre calentamiento del agua de alimentación

Un economizador es un intercambiador de calor tubular, que se instala a la salida de los gases de combustión de la caldera, por los que circula agua de alimentación que absorbe parte del calor de estos gases. La energía recuperada supone un calentamiento del agua de alimentación y, por tanto, una reducción del consumo de combustible necesario para ello, generando, por consiguiente, un ahorro energético y económico.

Fig. 14: Esquema recuperación de energía con economizador



##### 1.2. Recuperador: Pre calentamiento del aire de combustión

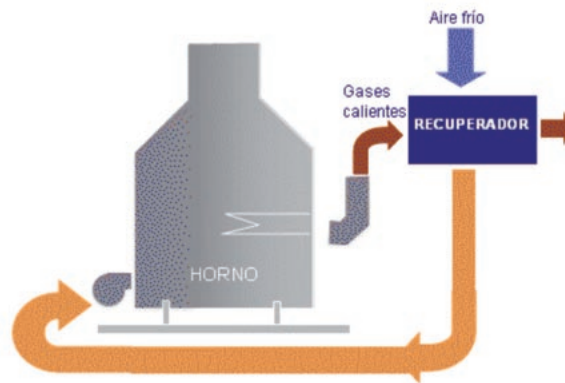
En este caso, se trata de calentar el aire de combustión, antes de su entrada en el equipo de generación, con los gases de combustión, disminuyendo el consumo de combustible. Mediante el recuperador, el rendimiento del equipo se verá notablemente mejorado.



La mayoría de los hornos producen humos a alta temperatura (250 - 1.000 °C) existiendo un gran potencial de recuperación y reutilización de energía en el proceso, disminuyendo el consumo de combustible para la misma potencia a transferir.

Un economizador de agua de caldera es más económico que un precalentador de aire para calderas pequeñas, es decir, de baja presión y con una producción de vapor inferior a 20.000 kg/h. El precalentador de aire competirá con el economizador de agua para unidades mayores de capacidad y producción.

Fig. 15: Esquema recuperación de energía con recuperador

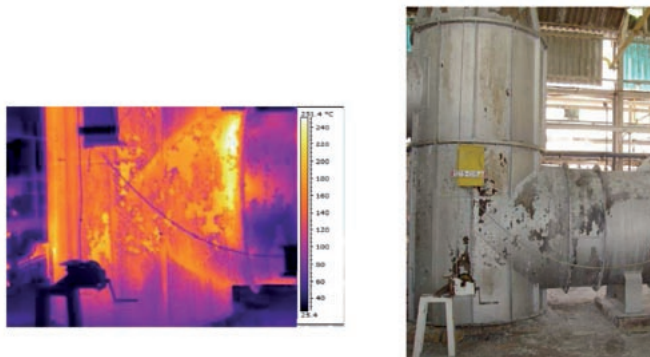


### 3.2.4. MAEE 1.4: Minimizar pérdidas por paredes

#### 1. Descripción de la medida

El espesor y mantenimiento en buen estado del refractario, son elementos esenciales del ahorro energético en los hornos, ya que su inadecuación puede llevar asociadas unas pérdidas térmicas por las paredes en torno a un 30-40% del poder calorífico aportado por el combustible. Aislar un horno con el refractario adecuado, puede mejorar la eficiencia térmica de los procesos de calentamiento hasta en un 50%, dependiendo del tipo de horno y las temperaturas. Algunas medidas para disminuir estas pérdidas consisten en instalar aislamiento en las paredes o aumentar su espesor.

Fig. 16: Análisis termográfico para evaluar el estado del aislamiento.



### 3.2.5. Tabla resumen de medidas

A continuación se ofrece una lista de las medidas de ahorro energético descritas en el apartado anterior, con los valores de ahorro y los períodos de amortización de las inversiones necesarias. Estos valores de ahorro y períodos de amortización son orientativos, y se han obtenido de varios estudios sobre auditorías realizados en distintos países. Los valores que se ofrecen son los promedios de los ofrecidos por estos estudios.

Tabla 5. Tabla de medidas de ahorro y eficiencia energética en calderas, hornos y secaderos

| LISTA DE MAEE EN CALDERAS, HORNOS Y SECADEROS |   |            |          |                         |
|---|---|------------|----------|-------------------------|
| Tecnología                                    | Descripción de la medida                          | Referencia | % Ahorro | Periodo de amortización |
| Calderas                                      | Control de la combustión                          | MAEE 1.1.  | 3,2      | 10 meses                |
| Calderas                                      | Minimización de purgas                            | MAEE 1.2.  | 0,73     | 9 meses                 |
| Calderas                                      | Recuperación de calor residual de gases de salida | MAEE 1.3.  | 5,18     | 2 años                  |
| Hornos  | Control de la combustión                          | MAEE 1.1.  | 6        | 10 meses                |
| Hornos  | Recuperación de calor residual de gases de salida | MAEE 1.3.  | 8,4      | < 2 años                |
| Hornos  | Minimizar pérdidas por paredes                    | MAEE 1.4.  | 2,5      | 1 año                   |
| Secaderos                                     | Recuperación de calor residual de gases de salida | MAEE 1.3.  | 21,4     | 1,9 años                |
| Secaderos                                     | Minimizar pérdidas por paredes                    | MAEE 1.4.  | 2,0      | 1,1 años                |

## 3.3. Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “control del aire de combustión”

### 3.3.1. Descripción tecnológica de la medida

En el presente ejemplo se analizará el ahorro conseguido mediante la mejora en el control del aire de combustión en una caldera pirotubular, alimentada con gas natural, que produce vapor saturado. La regulación del aire de combustión se lleva a cabo actualmente de modo manual. El aire de combustión introducido debe ajustarse al valor mínimo que garantice una combustión completa (dependiendo de la tecnología empleada, producción de la caldera y del combustible), y de manera que sea mínima la pérdida de calor con los humos de combustión.

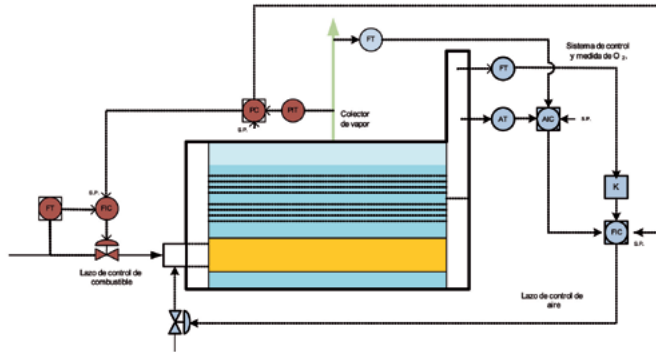
Para evaluar los aspectos técnicos, energéticos y económicos de la medida de ahorro se analizará, en primer lugar, el funcionamiento actual de caldera (pérdidas, rendimiento, costes...) y, posteriormente, el funcionamiento de la situación mejorada al ajustar el aire de combustión. La comparación entre ambas situaciones permitirá evaluar los rendimientos obtenidos con la medida.

La medida de ahorro consistiría en incorporar un sistema de control que corrija la relación aire/combustible. Esta corrección se basa en la medición del porcentaje de O<sub>2</sub> en los gases de la combustión y en hacer actuar la señal obtenida sobre el sistema general de control aire/combustible.

### 3.3.2. Estimación de eficiencia energética

El objeto de este apartado es describir los datos necesarios, y el procedimiento a seguir, para evaluar los rendimientos de la situación actual de la caldera y de la situación mejorada, una vez implementada la medida de ahorro.

Fig. 17: Sistema de control de la caldera



Dependiendo del nivel de instrumentación de la industria, los datos necesarios serán conocidos y podrán ser aportados por el responsable del centro. En caso contrario, será necesario realizar mediciones de campo específicas para dicha evaluación.

## SITUACIÓN ACTUAL

### 1. Datos requeridos:

En la tabla siguiente se resumen los datos que se necesitarán para evaluar la eficiencia energética de la situación actual, es decir, la situación previa a la implantación de la medida de ahorro.

Tabla 6. Tabla de datos requeridos

| Datos requeridos    |                                | Unidades            | Valor actual |
|---------------------|--------------------------------|---------------------|--------------|
| Vapor               | Presión                        | bar                 | 10,50        |
|                     | Caudal                         | kg/h                | 7.300        |
|                     | Tipo                           | ---                 | Gas natural  |
| Combustible         | PCI                            | kWh/Nm <sup>3</sup> | 10,5         |
|                     | Consumo                        | Nm <sup>3</sup> /h  | 498,7        |
| Agua                | T <sup>a</sup> entrada caldera | °C                  | 120          |
|                     | T <sup>a</sup> salida          | °C                  | 220          |
| Gases de combustión | Contenido CO                   | % CO                | 0            |
|                     | Contenido O <sub>2</sub>       | % O <sub>2</sub>    | 7,5          |

### 2. Evaluación de las pérdidas

La evaluación de las pérdidas energéticas y del rendimiento de la caldera, se realizará mediante balances de masa y energía.

El cálculo del caudal de gases de la combustión se obtendrá a partir de la composición del gas natural y de los porcentajes de O<sub>2</sub> y CO en los gases de escape, realizando, para ello, el balance de masa.

El resultado del balance de masa se muestra en la tabla siguiente:

Tabla 7. Caudal de gases de combustión

| Situación | Valor calculado | Unidades          | Resultado |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| Actual    | Caudal de gases | kg/kg combustible | 23        |

A partir de los datos anteriores se calcula la potencia aportada por el combustible, la potencia útil y las pérdidas de los gases de combustión.

Planteando el balance de energía de la caldera, se podrá cuantificar el resto de las pérdidas energía de la caldera agrupándolas en un sólo término que incluya tanto las pérdidas debido a la purga como las pérdidas por transmisión a través de la envolvente de la caldera. En este caso, las pérdidas por inquemados sólidos son despreciables al tratarse de gas natural.

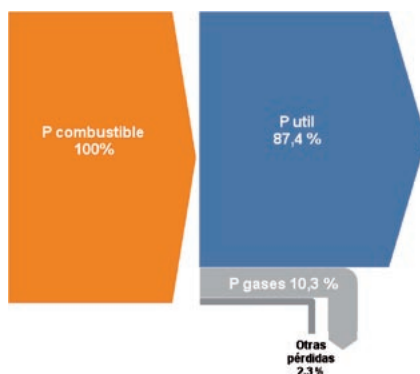
### 3. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados del balance térmico (en términos de potencia) en la situación actual. A continuación se muestra el diagrama de Sankey que ilustra el reparto de pérdidas en la situación actual.

Tabla 8. Potencia actual de las distintas corrientes

| Situación | Valor calculado              | Unidades | Resultado |
|-----------|------------------------------|----------|-----------|
| Actual    | Potencia aportada            | kW       | 5.276     |
| Actual    | Potencia útil                | kW       | 4.614     |
| Actual    | Pérdidas en gases            | kW       | 541       |
| Actual    | Pérdidas purga + convectivas | kW       | 121       |

Fig. 18: Diagrama de Sankey situación actual (en términos de potencia)



Como resultado se tiene un rendimiento instantáneo del 87,4%.

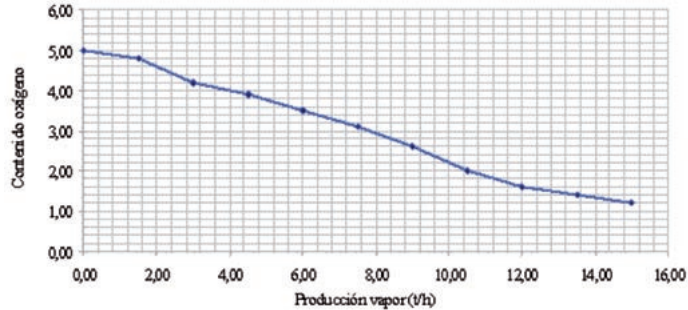
## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos:

Para evaluar la eficiencia energética de la situación posterior a la implantación de la medida de ahorro a evaluar, se requiere un nuevo dato que es la hoja de calibración de la caldera.

La hoja de calibración de la caldera muestra el contenido de oxígeno, en los gases de combustión, en función de la producción de vapor para la obtención de una adecuada combustión.

Fig. 19: Hoja de calibración de la caldera



Mediante la hoja de calibración de la caldera se obtiene el contenido en oxígeno en los gases de combustión para la combustión ajustada, a partir de la producción de vapor de la caldera.

Fig. 20: Obtención del contenido de O<sub>2</sub> en los gases en función de la producción de la caldera

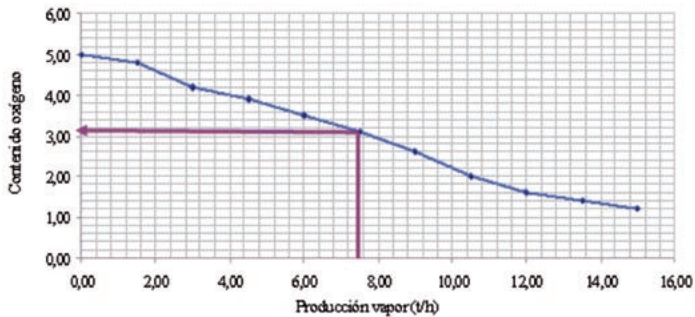


Tabla 9. Nueva composición de gases para la combustión ajustada

| Situación | Contenido O <sub>2</sub> (%) | Contenido CO (%) |
|-----------|------------------------------|------------------|
| Actual    | 7,5                          | 0                |
| Mejorada  | 3,05                         | 0                |

## 2. Evaluación de las pérdidas

Tras la realización de los balances de masa, se calcula el caudal de aire por kg de combustible para la combustión ajustada.

Realizando el balance en la situación mejorada, se pueden calcular las pérdidas en los humos (un menor caudal que al inicio) de combustión para la situación mejorada, considerando constante el resto de los términos.

La potencia útil (evaluando la caldera para la misma producción de vapor) y el resto de pérdidas (las debidas a la purga y a las pérdidas por convección) no se ven influenciadas por el ajuste de la combustión. De este modo, del balance de energía de la caldera, se obtiene la nueva potencia aportada por el combustible.

Tabla 10. Caudal de gases de combustión para la combustión ajustada

| Situación | Valor calculado | Unidades          | Resultado |
|-----------|-----------------|-------------------|-----------|
| Mejorada  | Caudal de gases | kg/kg combustible | 17,97     |

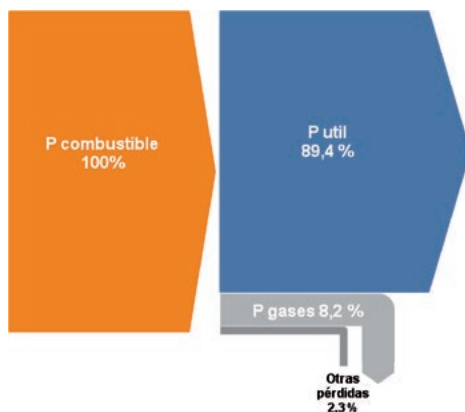
### 3. Resultados

En la siguiente tabla, se muestran los resultados del balance de energía en la situación mejorada. A continuación se muestra el diagrama de Sankey que ilustra el reparto de pérdidas en la nueva situación.

Tabla 11. Potencia de las corrientes en la situación mejorada

| Situación | Valor calculado              | Unidades | Resultado |
|-----------|------------------------------|----------|-----------|
| Actual    | Potencia aportada            | kW       | 5.158     |
| Actual    | Potencia útil                | kW       | 4.614     |
| Actual    | Pérdidas en gases            | kW       | 423       |
| Actual    | Pérdidas purga + convectivas | kW       | 121       |

Fig. 21: Diagrama de Sankey de la situación mejorada



El resultado es un rendimiento instantáneo del 89,4%. Respecto al valor existente en la situación inicial, supone un incremento del 2,28%.

### 3.3.3. Evaluación energética

La finalidad de este apartado es evaluar el consumo energético anual en la situación actual y tras la implantación de la medida de ahorro. Una vez conocidos los resultados, se podrá calcular el ahorro energético anual al comparar ambas situaciones.

## SITUACIÓN ACTUAL

### 1. Datos requeridos

Para evaluar el consumo energético en la situación actual, se requerirá el conocimiento o estimación de las horas anuales de funcionamiento de la caldera.

Se considerará un funcionamiento de 8.400 horas al año.

### 2. Evaluación del consumo energético anual

Se calcula el consumo anual de combustible a partir de la potencia aportada.

$$\text{Consumo combustible} \left( \frac{\text{Nm}^3}{\text{año}} \right) = \frac{P_{\text{aportada}} (\text{kW})}{\text{PCI} (\text{kWh} / \text{Nm}^3)} \text{Horas}_{\text{funcionamiento}} \left( \frac{\text{Horas}}{\text{año}} \right)$$

$$\text{Consumo energético} \left( \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \right) = P_{\text{aportada}} (\text{kW}) \text{Horas}_{\text{funcionamiento}} \left( \frac{\text{Horas}}{\text{año}} \right)$$

Los resultados se muestran en la tabla siguiente:

Tabla 12. Consumo anual de combustible

| Situación | Valor calculado        | Unidades             | Resultado  |
|-----------|------------------------|----------------------|------------|
| Actual    | Consumo de combustible | Nm <sup>3</sup> /año | 4.188.868  |
| Actual    | Consumo energético     | kWh/año              | 44.318.218 |

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

No son necesarios más datos, al no variar las horas de funcionamiento

### 2. Evaluación del consumo energético anual

De modo similar al descrito para la situación actual se calcula el consumo energético.

Tabla 13. Consumo anual de combustible

| Situación | Valor calculado        | Unidades             | Resultado  |
|-----------|------------------------|----------------------|------------|
| Mejorada  | Consumo de combustible | Nm <sup>3</sup> /año | 4.094.857  |
| Mejorada  | Consumo energético     | kWh/año              | 43.323.582 |

### 3. Evaluación del ahorro energético

El ahorro conseguido nos lo ofrece la diferencia entre el consumo actual y el consumo en la situación mejorada:

$$\text{Ahorro combustible} = \text{consumo combustible anual} /_{SA} - \text{consumo combustible anual} /_{SM}$$

$$\text{Ahorro energético} = \text{Consumo energético} /_{SA} - \text{Consumo energético} /_{SM}$$

Tabla 14. Ahorro anual de combustible

| Consumo de combustible |                    | Ahorro de combustible |     |
|------------------------|--------------------|-----------------------|-----|
| Situación actual       | Situación mejorada | Nm <sup>3</sup> /año  | %   |
| 4.188.868              | 4.094.857          | 94.011                | 2,2 |

Tabla 15. Ahorro anual de energía

| Consumo energético |                    | Ahorro energético |     |
|--------------------|--------------------|-------------------|-----|
| Situación actual   | Situación mejorada | kWh/año           | %   |
| 44.318.218         | 43.323.582         | 994.636           | 2,2 |

### 3.3.4. Evaluación económica

#### SITUACIÓN ACTUAL

##### 1. Datos requeridos

Para evaluar el consumo energético en la situación actual se requerirá los siguientes datos:

Tabla 16. Datos requeridos

| Datos              | Unidades            | Valor actual |
|--------------------|---------------------|--------------|
| Precio gas natural | €/kWh               | 0,031        |
| PCS                | kWh/Nm <sup>3</sup> | 11,7         |

El precio del gas natural está referido en términos de poder calorífico superior (PCS).

##### 2. Coste energía consumida

Se calcula el coste del gas natural a partir de su consumo estimado y de su precio, mediante la siguiente expresión:

$$\text{Coste gas natural} \left( \frac{\text{€}}{\text{año}} \right) \Big|_{SA} = \text{consumo combustible anual} \left( \frac{\text{Nm}^3}{\text{año}} \right) \Big|_{SA} \cdot \text{PCS} \cdot \left( \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} \right) \cdot \text{Precio} \left( \frac{\text{€}}{\text{kWh}} \right)$$

Tabla 17. Coste del consumo de gas natural en la situación actual

| Situación | Valor calculado   | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------|----------|-----------|
| Actual    | Coste gas natural | €/año    | 1.526.516 |



## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

Suponiendo que se mantiene el precio del gas natural, el único dato adicional para el estudio económico será la inversión requerida para la implantación de la medida de ahorro.

Los resultados se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 18. Coste del consumo de gas natural en la situación mejorada

| Situación | Valor calculado   | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------|----------|-----------|
| Mejorada  | Coste gas natural | €/año    | 1.492.256 |

Tabla 19. Ahorro económico

| Coste consumo gas natural |                    | Ahorro económico |     |
|---------------------------|--------------------|------------------|-----|
| Situación actual          | Situación mejorada | €/año            | %   |
| 1.526.516                 | 1.492.256          | 34.260           | 2,2 |

### 2. Evaluación de la rentabilidad económica

La inversión requerida para la implantación de la medida consta de los siguientes elementos:

1. Analizador del porcentaje de O<sub>2</sub> en los gases de escape de la caldera.
2. Sistema de control de la combustión con medición continua del porcentaje de O<sub>2</sub> en los gases de escape. En función de este porcentaje, se ajusta el caudal de aire a introducir en la caldera al nivel óptimo en los gases, siguiendo la curva de calibración de la caldera. El controlador compara el valor medido con el nivel fijado, añadiendo o quitando aire para ajustarse al objetivo.
3. Instalación y puesta en punto del equipo.

Para evaluar la rentabilidad de la inversión se calcula el tiempo de retorno simple mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tiempoderetorno} = \frac{\text{Inversión}}{\text{Ahorro económico}}$$

Tabla 20. Tiempo de retorno

| Valor calculado    | Unidades | Resultado |
|--------------------|----------|-----------|
| Ahorro anual       | €/año    | 34.260    |
| Inversión prevista | €        | 40.000    |
| Tiempo de retorno  | años     | 1,2       |

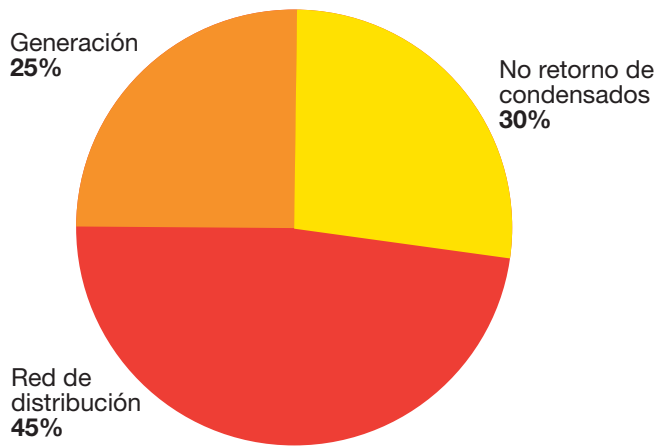
4

**Ahorro  
energético en  
redes de vapor**

## 4.1. Introducción

Si se analizan las pérdidas globales en una instalación de vapor, podremos comprobar que aproximadamente el 25% se producen en la generación, el 45% en la red de distribución y el 30% restante son debidas a la no utilización de los condensados. Por tanto, un buen diseño (longitud y diámetros de tuberías apropiados, aislamientos, uso de purgadores adecuados, etc.) y mantenimiento de la red de vapor (eliminar fugas en tuberías, comprobar el buen funcionamiento de los purgadores, etc.), así como el aprovechamiento del condensado y revaporizado, es clave a la hora de disminuir las pérdidas, aumentar la eficiencia y ahorrar energía.

Fig. 22: Porcentajes de pérdidas en una instalación de vapor.



## 4.2. Medidas de ahorro y eficiencia energética

### 4.2.1. MAEE 2.1: Aislamiento de líneas de condensado y de vapor

#### 1. Descripción de la medida

Si las líneas de retorno de los condensados y de distribución de vapor no se aíslan convenientemente, darán lugar a una importantísima pérdida de energía. Cualquier superficie por encima de los 50°C debe ser calorifugada, incluyendo las superficies de la caldera, las tuberías, los depósitos y los accesorios. De este modo, pueden reducirse las pérdidas de calor hasta en un 90%.

#### 2. Implementación tecnológica

El cálculo del espesor de aislante de una superficie, es un problema de optimización. Por un lado, cuanto mayor sea dicho espesor, menores serán las pérdidas que pudieran producirse, con lo que la cantidad de condensado decrece. Por otro, cuanto mayor sea el aislamiento, mayor será el coste de inversión requerida para ello.

Las pérdidas debidas a la falta de aislamiento, o a su deterioro, dependen de una serie de factores, entre los que caben destacar: La diferencia de temperatura entre el vapor y el exterior, las velocidades de ambas corrientes, el material, espesor, diámetro y longitud de la tubería, su ubicación y las condiciones ambientales.

Fig. 23: Obtención del espesor de aislante óptimo.

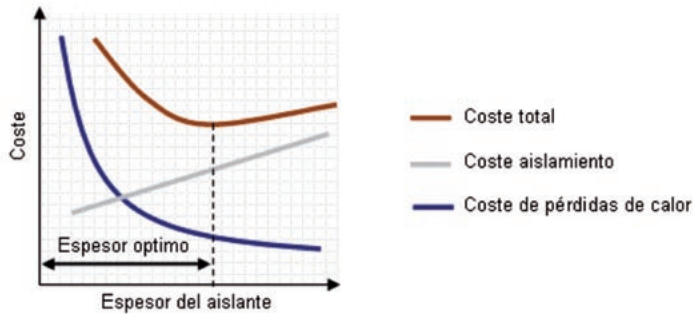
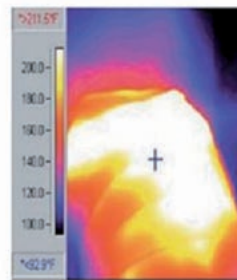


Fig. 24: Foto de infrarrojos de un aislamiento dañado.



a) Aislamiento de una tubería dañado parcialmente.



b) Foto de infrarrojos de la zona dañada del aislamiento.

## 4.2.2. MAEE 2.2: Reducción de fugas

### 1. Descripción de la medida

Reducir las fugas de vapor constituye uno de los mayores potenciales de ahorro energético y económico en las instalaciones industriales.

Las pérdidas de vapor se localizan fundamentalmente en las tuberías y en los purgadores. Las fugas debidas a fallos en las tuberías son fácilmente detectables y deberán ser eliminadas con rapidez, sobre todo debido al riesgo que suponen para los operarios. En cambio, el mal funcionamiento de los purgadores es difícil de detectar, especialmente en sistemas de condensación cerrados en los que no es fácil acceder al punto de descarga del purgador.

Un programa de mantenimiento de las instalaciones que tenga por objetivo la búsqueda y reparación de las fugas, es esencial para una operación eficiente de los sistemas de vapor.

### 2. Implementación tecnológica

Habrà que estimar la cantidad de vapor fugado, tanto en las redes como en los purgadores.

La comprobación del funcionamiento de los purgadores puede hacerse mediante:

- Inspección visual.
- Control por mirillas.
- Análisis térmico.
- Control acústico.

### 4.2.3. Tabla resumen

A continuación se ofrece una lista de las medidas de ahorro energético descritas en el apartado anterior, conteniendo los valores de ahorro y períodos de amortización orientativos. Estos valores de ahorro y períodos de amortización se han obtenido de varios estudios sobre auditorías realizados en distintos países. Los valores que se ofrecen son los promedios de los ofrecidos por estos estudios.

Tabla 21. Tabla de selección para medidas de ahorro y eficiencia energética en redes de vapor

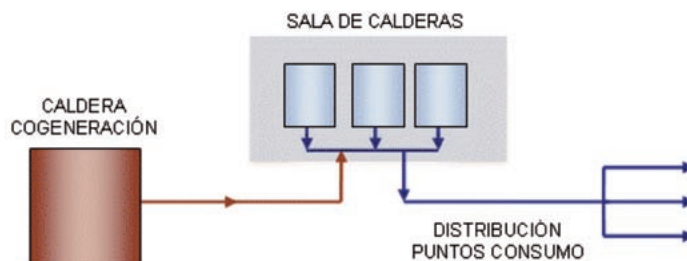
| LISTA DE MAEE EN REDES DE VAPOR |  |            |          |                         |
|---------------------------------|--|------------|----------|-------------------------|
| Tecnología                      | Descripción de la medida               | Referencia | % Ahorro | Periodo de amortización |
| Redes de vapor                  | Aislamiento de líneas (condensado)     | MAEE 2.1.  | 2,0      | 10 meses                |
| Redes de vapor                  | Aislamiento de líneas (vapor)          | MAEE 2.1.  | 1,0      | 10 meses                |
| Redes de vapor                  | Reducción de fugas (líneas y válvulas) | MAEE 2.2.  | 3,0      | 4 meses                 |
| Redes de vapor                  | Reducción de fugas (purgadores)        | MAEE 2.2.  | 4,5      | 6 meses                 |

## 4.3. Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “aislamiento de redes de vapor”

### 4.3.1. Descripción tecnológica de la medida

La red de vapor tiene por objeto distribuir, desde los puntos de generación, el vapor demandado por los distintos puntos de consumo de una planta. Para transportar el vapor producido existe un colector general, que comunica los distintos puntos de producción de vapor y se diversifica en ramales que distribuyen el vapor hasta los distintos puntos de consumo. En el ejemplo que se analizará a continuación se supondrá que el vapor es transportado por la red a 8 bares de presión.

Fig. 25: Esquema de una red de vapor.



La falta o deterioro del aislamiento de la red de vapor, puede producir importantes pérdidas energéticas en la misma.

La medida de ahorro, descrita en este ejemplo, consiste en la reparación del aislamiento y en el recubrimiento de las zonas defectuosas de la red de vapor en los puntos en los que se ha deteriorado o fuera inexistente.

### 4.3.2. Estimación de eficiencia energética

El objeto de este apartado es describir los datos necesarios, y el procedimiento a seguir, para evaluar las pérdidas de energía en forma de calor asociadas a la falta o al deterioro del aislamiento en las tuberías de una red de vapor.

Para caracterizar el estado de una red de distribución de vapor, es necesario realizar una inspección ocular y termográfica de la misma, que permita evaluar los tramos de tuberías cuyo aislamiento se encuentra deteriorado.

#### SITUACIÓN ACTUAL

##### 1. Datos requeridos

En la tabla siguiente se resumen los datos que se necesitarán para evaluar la eficiencia energética de la situación actual de la red, es decir, la situación previa a la implantación de la medida de ahorro.

Tabla 22. Determinación del estado de la red. Datos requeridos

| Datos                      | Unidades | Valor actual |
|----------------------------|----------|--------------|
| Caudal de la red de vapor  | t/h      | 20,15        |
| Presión de vapor           | bar      | 8            |
| T vapor                    | °C       | 171          |
| Tª entrada agua a caldera  | °C       | 25           |
| Tª ambiente media          | °C       | 20,9         |
| Velocidad del viento media | m/s      | 4,1          |

A continuación se muestra una de las termografías, realizadas durante los trabajos de campo, en las que puede observarse las temperaturas alcanzadas en la superficie exterior de las tuberías.

Fig. 26: Fotografía y termografía de la red de distribución de vapor.



A partir del estudio termográfico realizado, se evalúan los metros lineales de tuberías con aislamiento defectuoso. En la siguiente tabla se detalla, para cada una de las distintas secciones de tuberías, la longitud de estas con aislamiento defectuoso y sus correspondientes temperaturas superficial.

Tabla 23. Longitud de aislamiento defectuoso (m) en función de diámetro

|       | Diámetro de la tubería (pulgadas) |    |    |    |      |      |     |     |     |
|-------|-----------------------------------|----|----|----|------|------|-----|-----|-----|
|       | 1'                                | 2' | 3' | 4' | 6'   | 8'   | 10' | 12' | 14' |
| 170°C | 14                                | -  | 1  | 17 | 10,5 | 10,5 | -   | -   | -   |
| 160°C | 15                                | 4  | -  | 1  | -    | 39   | 3   | 97  | 63  |
| 147°C | -                                 | -  | 1  | 3  | -    | 6    | -   | -   | -   |
| 140°C | -                                 | 11 | -  | -  | -    | -    | -   | -   | -   |
| 70°C  | 1                                 | -  | -  | -  | -    | -    | -   | -   | -   |

## 2. Evaluación de las pérdidas

Las pérdidas de energía, a través de la superficie de las tuberías, resultan de la suma de la energía transferida al ambiente por convección y por radiación desde las mismas.

Se evaluarán las pérdidas energéticas en aquellos tramos con aislamiento defectuoso, recogidos en la tabla anterior.

## 3. Resultado

Las pérdidas se han evaluado para la temperatura ambiente media del año. Para un cálculo más detallado, pueden evaluarse también las pérdidas según la temperatura y velocidad del viento para cada una de las horas del año.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la situación actual.

Tabla 24. Pérdidas de los tramos con aislamiento defectuoso

| Situación | Valor calculado         | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------------|----------|-----------|
| Actual    | Pérdidas por convección | kW       | 540       |
| Actual    | Pérdidas por radiación  | kW       | 205       |
| Actual    | Pérdidas totales        | kW       | 745       |

A continuación se presentan, en porcentajes respecto a la energía transportada por la red de vapor, las pérdidas energéticas. Se han tenido en cuenta únicamente las debidas a los tramos con aislamiento deteriorado.

Tabla 25. Reparto de las pérdidas en la situación actual

| Energía útil | Pérdidas por convección | Pérdidas por radiación |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| 95 %         | 3,6 %                   | 1,4 %                  |

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

Se tomará un espesor del aislante de 50 mm y se supondrá una temperatura de la superficie exterior de las tuberías, una vez aisladas, de 28 °C.

Para cada tramo de tubería, las pérdidas por convección y radiación se calculan de modo análogo al anterior, suponiendo una temperatura superficial de 28°C.

### 2. Resultado

En la siguiente tabla se muestran las pérdidas en la situación mejorada.

Tabla 26. Potencia de las pérdidas en la situación mejorada

| Situación | Valor calculado         | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------------|----------|-----------|
| Mejorada  | Pérdidas por convección | kW       | 30,5      |
| Mejorada  | Pérdidas por radiación  | kW       | 14,7      |
| Mejorada  | Pérdidas totales        | kW       | 45,2      |

En la siguiente tabla se presentan, en porcentajes respecto de la energía transportada por la red, las pérdidas de los tramos detallados anteriormente una vez aislados convenientemente.

Tabla 27. Reparto de las pérdidas en la situación mejorada

| Energía útil | Pérdidas por convección | Pérdidas por radiación |
|--------------|-------------------------|------------------------|
| 99,7 %       | 0,2 %                   | 0,1%                   |

### 4.3.3. Evaluación energética

La finalidad de este apartado es evaluar las pérdidas anuales de la red en los tramos con aislamiento deteriorado en la situación actual y las pérdidas existentes tras colocar el aislamiento. Las diferencias observadas, nos permitirán calcular el ahorro energético anual.

Una de las consecuencias de las pérdidas energéticas en el transporte del vapor es que generan la necesidad de producir un exceso de vapor en las calderas. Este exceso de vapor, que llamaremos vapor equivalente, será utilizado para evaluar las pérdidas en ambas situaciones.

## SITUACIÓN ACTUAL

### 1. Datos requeridos

Para evaluar el consumo energético en la situación actual se requerirá el conocimiento o estimación de las horas anuales de funcionamiento de la red de transporte.

Estas se estiman en 8.000 horas de funcionamiento anuales.



## 2. Evaluación del consumo energético anual

Se calculan las pérdidas de vapor anuales y el vapor equivalente a dichas pérdidas.

Tabla 28. Pérdidas de vapor actuales

| Situación | Valor calculado   | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------|----------|-----------|
| Actual    | Pérdidas anuales  | kWh/año  | 5.955.215 |
| Actual    | Vapor equivalente | t/año    | 8.046     |

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requerido

No son necesarios más datos, al no variar las horas de funcionamiento

### 2. Evaluación del consumo energético anual

De modo similar al descrito en el apartado anterior se calculan las pérdidas anuales:

Tabla 29. Pérdidas de vapor en la situación mejorada

| Situación | Valor calculado   | Unidades | Resultado |
|-----------|-------------------|----------|-----------|
| Mejorada  | Pérdidas anuales  | kWh/año  | 361.717   |
| Mejorada  | Vapor equivalente | t/año    | 489       |

### 3. Evaluación del ahorro energético

La evaluación del ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y mejorada.

Tabla 30. Ahorro anual de energía

| Ahorro energético |     |
|-------------------|-----|
| kWh/año           | %   |
| 5.593.498         | 4,7 |

## 4.3.4. Evaluación económica

### 1. Datos requeridos

Para evaluar el gasto asociado al consumo energético, fijaremos un precio del vapor de 21,5 €/t.

### 2. Evaluación del ahorro económico

La evaluación de este ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y la mejorada.

Tabla 31. Ahorro económico anual

| Coste pérdidas (€/año) |                    | Ahorro económico |      |
|------------------------|--------------------|------------------|------|
| Situación actual       | Situación mejorada | €/año            | %    |
| 172.989                | 10.514             | 162.475          | 93,9 |

### 3. Evaluación de la rentabilidad económica

El desglose de la inversión requerida para la implantación de la medida, es el siguiente:

- Aislamiento de 50 mm de espesor y envolvente para cada uno de los tramos especificados, incluidos los codos.
- Colocación del aislamiento y envolvente.

Tabla 32. Resultados para el análisis de la rentabilidad económica

|                    |       |         |
|--------------------|-------|---------|
| Ahorro anual       | €/año | 162.475 |
| Inversión          | €     | 25.000  |
| Periodo de retorno | meses | 1,8     |



5

**Ahorro energético  
en sistemas  
de producción  
de frío**

## 5.1. Introducción

Los sistemas con mayor uso en refrigeración industrial son la refrigeración por compresión mecánica (más del 90 % de los casos) y la refrigeración por absorción. Existen otros métodos, como la eyección de vapor o la adsorción, pero son poco económicos o simplemente experimentales y sus aplicaciones son muy escasas.

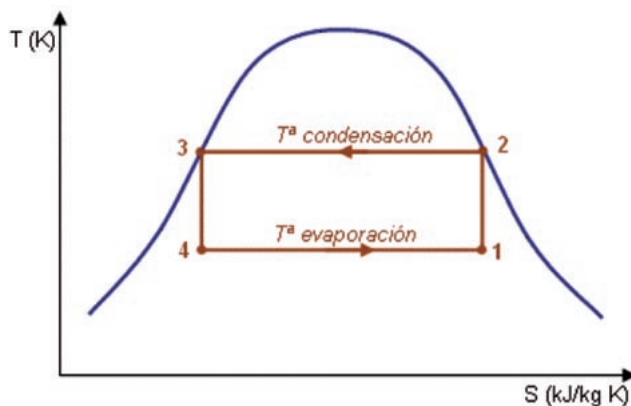
Dado que el sistema de refrigeración por compresión de vapor es el más empleado actualmente, es el que se propone, en este documento, para la aplicación de las medidas de ahorro propuestas.

El ciclo de compresión mecánica (o compresión de vapor) está basado en el ciclo inverso de Carnot, que representa la máquina frigorífica ideal. Si bien el ciclo de Carnot es un ciclo teórico, su conocimiento proporciona las bases para entender los conceptos necesarios para estudiar el ciclo real de compresión de vapor, que es el que sigue las instalaciones convencionales.

Los procesos en el ciclo inverso de Carnot, tal y como se muestran en la figura, son los siguientes:

- Proceso 1-2: Compresión adiabática y reversible: Isentrópica.
- Proceso 2-3: Enfriamiento isoterma.
- Proceso 3-4: Expansión adiabática y reversible: Isentrópica.
- Proceso 4-1: Calentamiento isoterma.

Fig. 27: Diagrama T-s del ciclo de Carnot

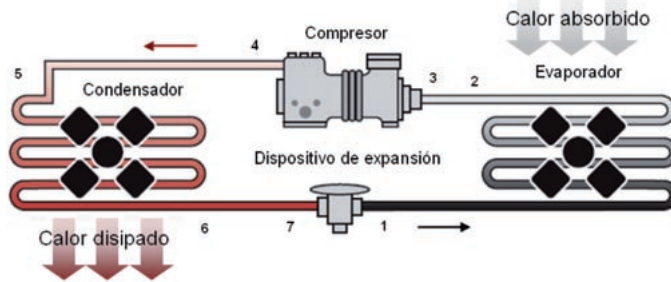


La eficiencia de los ciclos de refrigeración se expresa en términos del coeficiente de eficiencia energética (COP). Este coeficiente se define como la cantidad de refrigeración obtenida (potencia frigorífica) dividido por la energía que se requiere para conseguir dicha refrigeración (potencia de compresión).

El COP depende de la diferencia entre la temperatura de condensación y la de evaporación, de forma que a medida que disminuye esta diferencia, acercándose ambas temperaturas, el COP aumenta. Este será un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de proponer medidas de ahorro energético para estos sistemas.

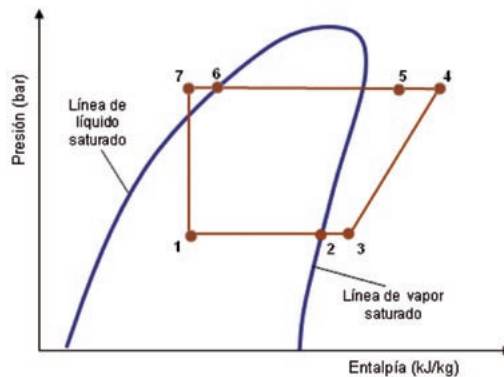
Los cuatro componentes básicos del sistema de compresión de vapor son: El compresor, el condensador, el sistema de expansión y el evaporador.

Fig. 28: Componentes del ciclo estándar de compresión de vapor.



En la siguiente figura se representan los puntos dentro del ciclo real de compresión de vapor.

Fig. 29: Diagrama p-h del ciclo estándar de compresión de vapor



## 5.2 Medidas de ahorro y eficiencia energética

### 5.2.1 MAEE 3.1: Reducción de la temperatura de condensación

#### 1. Descripción de la medida.

Se pretende con esta medida reducir el trabajo del compresor ya que disminuye la presión de condensación con la que trabaja el ciclo frigorífico. Como consecuencia, se obtiene un menor consumo energético del compresor. También pueden darse otros beneficios, como son una temperatura de descarga menor y aumento de la vida del compresor al trabajar en condiciones menos extremas.

#### 2. Implementación tecnológica.

Se tienen varias líneas de acción para disminuir la temperatura de condensación:

1. Cambio de tipología de condensador. Diferentes tipos de condensadores para un mismo emplazamiento, dan temperaturas de condensación diferentes.

2. Control modulante de presión. Estos sistemas, normalmente, utilizan un control fijo de la presión de condensación. Esta, que suele ser elevada, se ajusta a las condiciones más desfavorables del año. Se trata entonces de eliminar el control por presión de alta y permitir que la condensación fluctúe con las condiciones ambientales.
3. Pre-enfriamiento evaporativo del aire de refrigeración del condensador. Con esto se consigue reducir la temperatura de entrada del fluido refrigerante.

Fig. 30: Tipos de condensación y temperaturas típicas asociadas

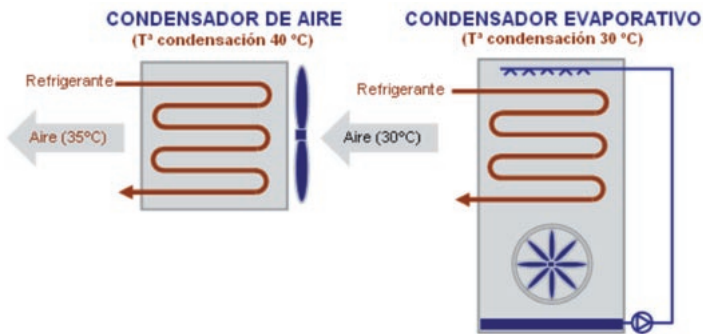
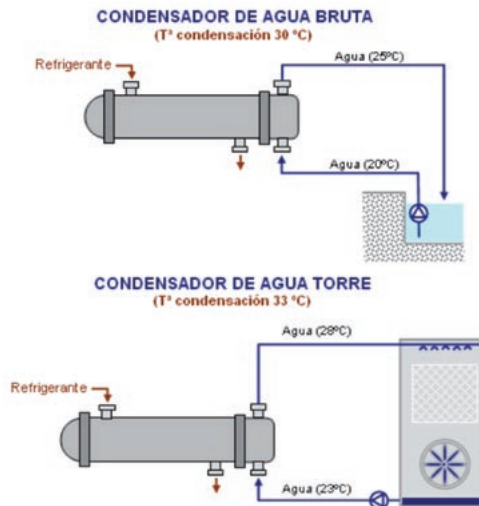


Fig. 31: Tipos de condensación por agua y temperaturas típicas asociadas.



## 5.2.2 MAEE 3.2: Aumento de la temperatura de evaporación

### 1. Descripción de la medida

La temperatura de evaporación viene determinada por el servicio dado por el equipo y por la temperatura requerida en la instalación y no siempre será posible aumentarla. Al aumentar la temperatura de evaporación, disminuye el trabajo que debe realizar el compresor para poder evacuar el calor en el condensador y, por tanto, disminuye su consumo.

## 2. Implementación tecnológica

El frío producido en un evaporador siempre es consecuencia del salto térmico y del área de intercambio del evaporador.

Se pretende mantener una presión de evaporación flotante con las condiciones de carga. Esto se consigue a través de controladores electrónicos, que ofertan determinados fabricantes.

### 5.2.3 MAEE 3.3: Regulación de la carga en motores

#### 1. Descripción de la medida

En toda instalación frigorífica existe un cambio continuo de la demanda de refrigeración, lo cual exige que la producción frigorífica deba ser variable para satisfacer la demanda. En la práctica, nos encontramos con el hecho de tener instalaciones diseñadas para una capacidad máxima determinada, por lo general sobredimensionadas, aunque en realidad las necesidades que le solicitamos a los equipos son variables e inferiores. Es muy importante, al objeto de obtener el máximo de ahorro energético, conseguir un buen acoplamiento a condiciones de carga variable.

Lo ideal es la parcialización de la potencia de los equipos en la medida de lo posible. Es decir, disponer de un número de compresores, ventiladores y bombas de distinta potencia para poder ajustarse de mejor forma a la carga.

#### 2. Implementación tecnológica

El método más eficiente para adecuar el funcionamiento de los equipos que consumen electricidad a la carga de la instalación, una vez que ésta está en funcionamiento, es la introducción de variadores de frecuencia en los motores eléctricos.

Un variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que toma la tensión de alimentación de la red eléctrica, la rectifica y luego la vuelve a transformar en corriente alterna de la frecuencia y tensión que en cada momento se necesite para que la velocidad de rotación del motor eléctrico y del equipo (compresores, ventiladores y bombas) varíen según las necesidades de la instalación. Estas le son marcadas por un controlador, interno o externo, basándose en la presión o temperatura de referencia ajustada.

Con esto se consigue que el equipo funcione en su punto de máximo rendimiento, sea cual sea la carga. Además, como se producen menores paradas de la instalación, aumenta la vida útil de los equipos.

### 5.2.4 Tabla resumen

A continuación, se ofrece una lista de las medidas de ahorro energético descritas en el apartado anterior, conteniendo valores orientativos de los ahorros y de los períodos de amortización. Estos valores se han obtenido de varios estudios sobre auditorías realizados en distintos países. Los valores que se ofrecen son los promedios de los ofrecidos por estos estudios.



Tabla 33. Tabla de selección para medidas de ahorro y eficiencia energética en instalaciones de producción de frío

| LISTA DE MAEE EN INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE FRÍO |   |            |          |                         |
|--|---|------------|----------|-------------------------|
| Tecnología   | Descripción de la medida                    | Referencia | % Ahorro | Periodo de amortización |
| Producción de frío                                   | Reducción de la temperatura de condensación | MAEE 3.1.  | 2,0      | 10 meses                |
| Producción de frío                                   | Aumento de la temperatura de evaporación    | MAEE 3.2.  | 1,0      | 10 meses                |
| Producción de frío                                   | Regulación de la carga en motores           | MAEE 3.3.  | 3,0      | 4 meses                 |

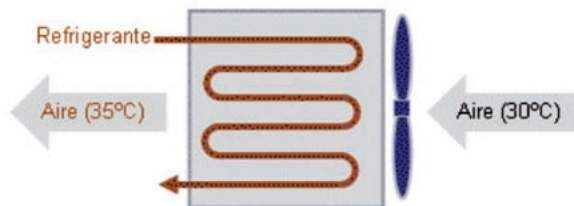
## 5.3 Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “reducción de la presión de condensación”.

### 5.3.1 Descripción tecnológica de la medida.

La instalación frigorífica del presente ejemplo tenía originalmente una demanda frigorífica constante. La condensación se producía en un condensador refrigerado por aire, siendo R-22 el refrigerante del ciclo de frío.

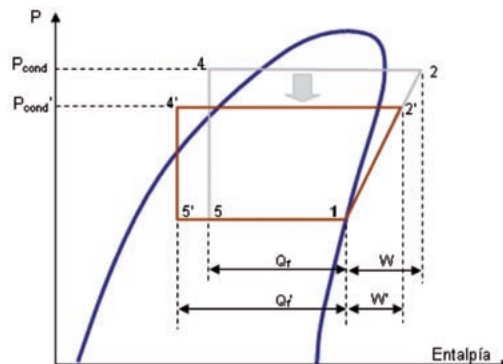
El sistema utilizaba un control fijo de la presión de condensación elevado, ajustado a las condiciones más desfavorables del año. En el diseño original, el ventilador del condensador seguía un ciclo de marcha-parada para mantener una presión de condensación entre 1.517 y 1.725 kPa.

Fig. 32: Condensación refrigerado por aire



El objeto de esta medida de ahorro es eliminar el control por presión de alta, permitiendo que la condensación fluctúe con las condiciones ambientales mediante un control modulante de presión.

Fig. 33: Ciclo de frío original y ciclo mejorado.



Tal y como se representa en el gráfico anterior, con este sistema disminuye el consumo del compresor (W) al disminuir la presión de impulsión y aumentar la potencia frigorífica del evaporador (Qf), por lo que se produce aumento del COP que se traducirá en una disminución en el consumo del compresor.

### 5.3.2 Estimación de eficiencia energética

El objeto de este apartado es describir los datos necesarios y el procedimiento a seguir para evaluar el consumo eléctrico, la potencia frigorífica y la eficiencia en la situación inicial y en la situación mejorada de la instalación frigorífica.

#### SITUACIÓN ACTUAL

##### 1. Datos requeridos

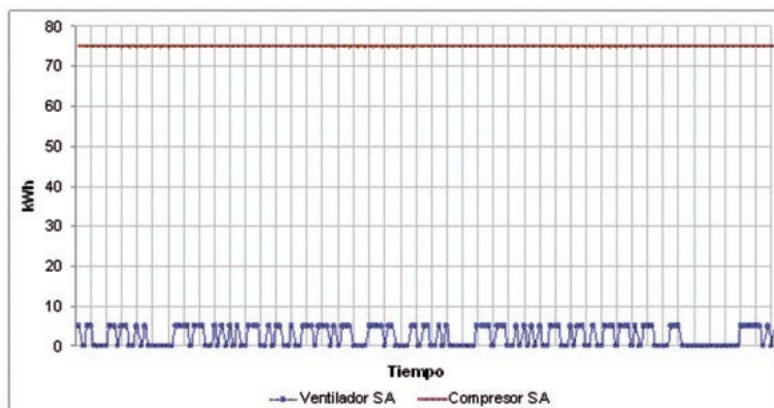
En la tabla que sigue, se resumen los datos que se necesitarán para evaluar la eficiencia energética de la situación actual, es decir, la situación previa a la implantación de la medida de ahorro.

La evolución, tanto del consumo del compresor como del ventilador, se muestra en la gráfica siguiente:

Tabla 34. Datos requeridos para la evaluación de la situación inicial

| Datos requeridos                | Unidades | Valor actual |
|---------------------------------|----------|--------------|
| Refrigerante                    | -        | R-22         |
| Presión de evaporación          | kPa      | 275          |
| Presión condensación            | kPa      | 1.517-1.725  |
| Subenfriamiento del líquido     | °C       | 8            |
| Recalentamiento del vapor       | °C       | 3            |
| Potencia frigorífica            | kW       | 180          |
| Potencia del compresor carga    | kW       | 75           |
| Potencia del compresor descarga | kW       | 5            |
| Potencia del ventilador         | kW       | 5            |

Fig. 34: Consumo eléctrico del ventilador y del compresor en la situación inicial (SA)



El compresor se encuentra funcionando a plena potencia y, dado que existe un control fijo de presión, la regulación del sistema de frío se realizaba parando y encendiendo el ventilador del condensador.

## 2. Evaluación eficiencia energética

A continuación se evalúa en consumo del compresor y del ventilador, cuyos valores son objeto de este estudio y la potencia frigorífica del equipo. Para ello, se obtendrán previamente los puntos del ciclo de frío.

A continuación, y conocida la potencia frigorífica del equipo, se determina el caudal de refrigerante. Finalmente, el consumo del ventilador se calcula a partir de los tiempos en carga y en descarga en condiciones de operación y la potencia del mismo.

## 3. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados correspondientes a la situación actual.

Tabla 35. Potencia frigorífica y potencia eléctrica en la situación actual

| Situación | Valor calculado           | Unidades | Resultado |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|
| Actual    | Potencia frigorífica      | kW       | 180       |
| Actual    | Potencia media ventilador | kW       | 5         |
| Actual    | Potencia media compresor  | kW       | 75        |

Se calcula el COP del ciclo en la situación actual, dividiendo la potencia frigorífica por la potencia del compresor. Este resulta ser de 2,41.

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

En la tabla siguiente se resumen los datos que se necesitarán para evaluar la eficiencia energética de la situación mejorada.

Tabla 36. Datos requeridos para la evaluación de la situación mejorada

| Datos requeridos                              | Unidades | Valor actual |
|---|----------|--------------|
| Evolución de Tª ambiente de la zona           | °C       | ---          |
| Salto mínimo de temperaturas en condensador   | °C       | 14           |
| Mínima salto de presión compatible evaporador | kPa      | 483          |
| Rendimiento isentrópico del compresor         | -        | 0,85         |
| Rendimiento mecánico del compresor            | -        | 0,998        |

### 2. Evaluación eficiencia energética

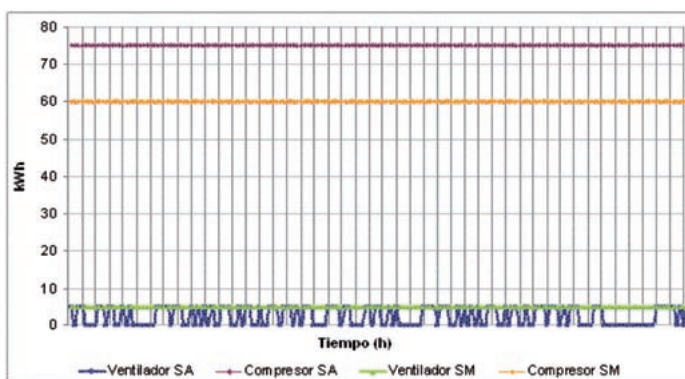
El cambio efectuado en la estrategia de control de la presión de alta del sistema, pasando a un control modulante de la presión, tiene beneficiosos efectos en el sistema. Para optimizar el sistema es necesario determinar el mínimo salto de presión necesario en la válvula de expansión que proporcione una correcta alimentación de los evaporadores. Para el sistema que estamos analizando, la mínima diferencia de presión compatible con la correcta alimentación del evaporador es de 483 kPa, y la presión de evaporación, para las condiciones de

operación del sistema, es de 275 kPa para todo el año. Teniendo en cuenta la presión de condensación inicial, el sistema tiene un amplio rango de reducción de la presión sin poner en peligro el funcionamiento del mismo.

A la instalación se le cambió la presión mínima del condensador a 1.070 kPa, lo que proporciona un ajuste conservador ya que el mínimo permitido era de 758 kPa. Con esta nueva presión mínima en el lado de alta presión del ciclo, se permite al sistema ajustarse a condiciones climatológicas exteriores más benignas.

A continuación se representan los consumos del ventilador y del compresor en la situación original y una vez implantada la medida de ahorro.

Fig. 35: Consumo del ventilador y compresor en ambas situaciones (actual y mejorada)



A partir del ciclo de refrigeración resultante, se calcula el trabajo del compresor y la potencia frigorífica. Dada que la potencia del nuevo ciclo es mayor, el compresor entrará en descarga para mantener la energía aportada.

El tiempo que el compresor entra en descarga se calcula a partir de la potencia frigorífica en la situación original y mejorada.

Si se permite una presión flotante, la regulación se realiza disminuyendo la presión, por lo que los ventiladores están funcionando a plena potencia. Por lo tanto, una desventaja de la medida es que el ventilador está funcionando durante más tiempo que en el anterior ciclo de marcha-parada. Aún así, la reducción del trabajo del compresor es más beneficiosa que el aumento de consumo del ventilador del condensador. Además esta medida incrementa la potencia frigorífica del ciclo.

### 3. Resultados

En la siguiente tabla se muestran los resultados correspondientes a la situación mejorada.

Tabla 37. Potencia frigorífica y potencia eléctrica en la situación mejorada

| Situación | Valor calculado           | Unidades | Resultado |
|-----------|---------------------------|----------|-----------|
| Actual    | Potencia frigorífica      | kW       | 180       |
| Actual    | Potencia media ventilador | kW       | 60        |
| Actual    | Potencia media compresor  | kW       | 5         |

El COP de esta nueva situación resulta ser de 3,04. Esto supone una mejora de la eficiencia importante frente a la situación actual, con un COP de 2,41. La implantación de la medida incrementa el COP en un 26%.

### 5.3.3 Evaluación energética

La finalidad de este apartado es evaluar la energía consumida debida al cambio de funcionamiento del compresor. Se evalúa en este apartado el consumo del compresor y del ventilador en ambas situaciones

#### 1. Datos requeridos

Para evaluar el consumo energético se requerirá el conocimiento o estimación de las horas anuales de funcionamiento.

Se tomarán un total de 8.000 horas de funcionamiento anuales.

#### 2. Evaluación del ahorro energético

El consumo de ambos equipos, ventilador y compresor, se obtiene a partir de la potencia media anual multiplicada por el número de horas de funcionamiento. Lo que da lugar a un consumo de 616.000 kWh/año para la situación actual y de 520.000 kWh/año en la situación mejorada.

La evaluación del ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y mejorada.

Tabla 38. Ahorro energético anual

| Consumo energético (kWh/año) |                    | Ahorro energético |      |
|------------------------------|--------------------|-------------------|------|
| Situación actual             | Situación mejorada | kWh/año           | %    |
| 616.000                      | 520.000            | 96.000            | 15,6 |

### 5.3.4 Evaluación económica

#### 1. Datos requeridos

Para evaluar el gasto asociado al consumo energético, se tomará un precio de la energía eléctrica de 0,08 €/kWh.

#### 2. Evaluación del ahorro económico

La evaluación del ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y la mejorada.

Tabla 39. Ahorro energético anual

| Consumo económico (€/año) |                    | Ahorro energético |      |
|---------------------------|--------------------|-------------------|------|
| Situación actual          | Situación mejorada | €/año             | %    |
| 49.280                    | 41.600             | 7.680             | 15,6 |

#### 3. Evaluación de la rentabilidad económica

El desglose de la inversión requerida para la implantación de la medida es el siguiente:

- Control flotante de la presión de condensación.
- Implantación de la medida.

Tabla 40. Resultados para el análisis de rentabilidad económica

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Ahorro anual       | €/año | 7.680 |
| Inversión          | €     | 1.900 |
| Periodo de retorno | meses | 3     |



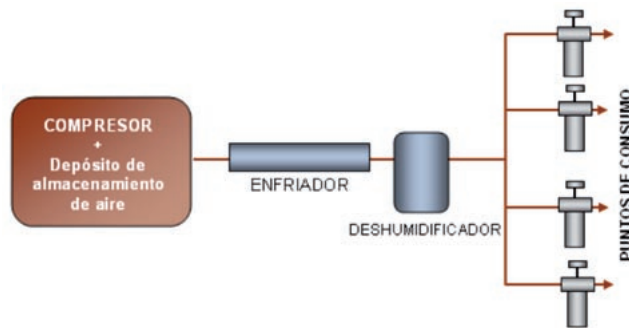
**Ahorro energético  
en sistemas  
de aire  
comprimido**

## 6.1 Introducción

El aire comprimido es un elemento muy habitual en un gran número de instalaciones industriales. Normalmente se emplea para obtener trabajo mecánico lineal o rotativo, asociado al desplazamiento de un pistón o de un motor neumático.

La siguiente figura muestra el esquema básico de una instalación de aire comprimido para una nave industrial. Los elementos principales que la componen son: El compresor (que incluye normalmente un depósito de almacenamiento de aire comprimido), el enfriador, un deshumidificador, las líneas de suministro y los puntos de consumo con su regulador y filtro.

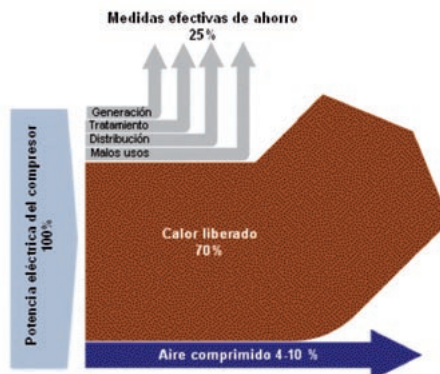
Fig. 36: Esquema de una instalación de aire comprimido.



En un sistema de aire comprimido la presión de suministro del compresor tiene que ser superior a la requerida por los equipos y herramientas conectados al sistema, ya que la presión del aire tendrá que vencer una pérdida de carga en su trayecto desde el compresor hasta el equipo en cuestión. Estas pérdidas de carga o presión se dividen entre las originadas en el sistema de tratamiento del aire (refrigeradores posteriores, secador, separadores, filtros...) y las generadas durante su circulación a lo largo del sistema de distribución. La misión del sistema de control de la planta de aire comprimido, es acomodar el suministro de aire a la demanda de los equipos.

El proceso de compresión de aire tiene asociado un uso energético elevado con muy poco aprovechamiento, pues se generan grandes pérdidas como puede observarse en la siguiente figura.

Fig. 37: Diagrama de pérdidas asociado a un sistema de aire comprimido.



Sólo entre el 4 y el 10% de la energía consumida va a parar al aire comprimido. A continuación se describen algunas de las medidas que intentan recuperar parte la energía utilizada y no aprovechada.

## 6.2 Medidas de ahorro y eficiencia energética

### 6.2.1 MAEE 4.1: Reducción de fugas en las redes

#### 1. Descripción

Las fugas son unas de las causas principales y más comunes de pérdidas energéticas en los equipos de aire comprimido. El objetivo principal de una planta de compresores es suministrar aire comprimido. La pérdida por fugas de parte de este aire, ha de entenderse como una pérdida de la energía requerida para su producción, así como un incremento improductivo del coste operacional en el que se ha incurrido para su generación. En las instalaciones en las que no se realiza un mantenimiento adecuado, las pérdidas de aire por fugas y escapes pueden alcanzar hasta un 30 % de la capacidad instalada, llegando incluso al 50 % en las instalaciones con menor mantenimiento. Los puntos donde más comúnmente se producen fugas son:

- Conexiones, mangueras, tubos, accesorios.
- Reguladores de presión.
- Válvulas de purgadores o de cierre que permanecen abiertas o no funcionan adecuadamente.
- Uniones de tuberías, conexiones de equipos y sellado de roscas.
- Herramientas que permanecen conectadas.

#### 2. Implementación de esta medida de ahorro

Para evitar las fugas es necesario llevar a cabo una vigilancia especial, un mantenimiento planificado y las correspondientes actuaciones de mejora. En este sentido, es útil establecer un programa de mantenimiento preventivo que detecte las fugas, las repare y documente.

### 6.2.2 MAEE 4.2: Reducción de la presión del aire al mínimo permitido

#### 1. Descripción

Consiste en variar el rango de control del compresor. Para ello, es necesario determinar la presión mínima de suministro requerida para que todos los equipos conectados a la red de distribución trabajen dentro del rango de presiones para el que están diseñados. Una vez determinada, basta con ajustar el rango de control del compresor bajando las presiones de consigna.

Esta medida puede aplicarse fácilmente en compresores alternativos y rotativos de tornillo, y solo debe considerarse cuando la diferencia entre la presión de suministro del compresor y la presión de trabajo de los equipos sea mayor o igual a 0,7 bar. Excepcionalmente puede emplearse en aquellos sistemas en los que la red de distribución es muy larga o las caídas de presión muy altas.

#### 2. Implementación de esta medida de ahorro

Los sistemas de control actuales son capaces de mantener una presión media baja sin rebasar la mínima presión requerida para el funcionamiento adecuado de todos los equipos.



Independientemente de la calidad de control del sistema, ya sea de nueva adquisición o cuente con cierta antigüedad, es necesario ajustar el rango de control a las necesidades de cada planta en particular.

Se puede estimar la presión mínima de suministro requerida por el sistema realizando pruebas y mediciones en el punto más desfavorable de la red.

Fig. 38: Detalle de instalación de aire comprimido



### 6.2.3 MAEE 4.3: Alimentación del aire a la menor temperatura posible

#### 1. Descripción

Este es un método sencillo de mejorar el rendimiento del compresor. Consiste en tomar el aire de aspiración del exterior de la habitación de compresores, procurándolo de un lugar fresco y lo más cercano posible al compresor.

El aire exterior se encuentra normalmente a una temperatura inferior al que se encuentra en la sala de compresores, ya que esta último recibe el calor liberado por los equipos de compresión. De esta manera, y dado que la densidad del aire exterior debería ser mayor, aumenta el caudal másico suministrado por el compresor y, con ello, su rendimiento.

#### 2. Implementación de esta medida de ahorro

Es importante que el punto de aspiración se instale en un lugar donde el aire esté lo más exento posible de partículas, agua o vapores procedentes de torres de refrigeración, ya que, tanto las partículas como el agua, causarían problemas de condensados y desgaste que disminuirían considerablemente el rendimiento del sistema. Además, es importante un diseño adecuado de los conductos del aire para que la pérdida de carga que sufre el aire comprimido al circular por él sea la menor posible, de forma que la relación de compresión del compresor sea la mínima requerida y, con ella, la potencia consumida por ésta.

### 6.2.4 Tabla resumen

A continuación se ofrece una lista de las medidas de ahorro energético descritas en el apartado anterior, con valores orientativos del ahorro económico y de los períodos de amortización. Estos valores se han obtenido de varios estudios sobre auditorías realizados en distintos países. Los valores que se ofrecen son los promedios de los ofrecidos por estos estudios.

Tabla 41. Tabla de valores medios de ahorro económico y período de amortización de las inversiones asociadas a proyectos en instalaciones de aire comprimido

| LISTA DE MAEE EN INSTALACIONES DE AIRE COMPRIMIDO |   |            |          |                         |
|---|---|------------|----------|-------------------------|
| Tecnología  | Descripción de la medida  | Referencia | % Ahorro | Periodo de amortización |
| Aire comprimido                                   | Eliminar fugas de aire comprimido y gas inerte en líneas y válvulas | MAEE 4.1.  | 1,6      | 2,4 meses               |
| Aire comprimido                                   | Reducción de la presión del aire al mínimo permitido                | MAEE 4.2.  | 0,7      | 1,2 meses               |
| Aire comprimido                                   | Instalar la aspiración del compresor en los lugares más frescos     | MAEE 4.3.  | 0,4      | 6 meses                 |

## 6.3 Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “eliminación de fugas de aire comprimido”

### 6.3.1 Descripción tecnológica de la medida

La falta de mantenimiento puede producir importantes fugas en la red de aire comprimido, lo cual representa una pérdida de la energía necesaria para su producción.

La medida de ahorro descrita en este ejemplo consiste en la reparación de las fugas de aire comprimido de la red de una instalación, así como el establecimiento de un plan de mantenimiento para evitar fugas en el futuro.

El sistema considerado de compresión de la red (42 bares) es un compresor alternativo de pistón que trabaja en modo carga-descarga.

### 6.3.2 Estimación de eficiencia energética

El objeto de este apartado es describir los datos necesarios, y el procedimiento a seguir, para evaluar las fugas de aire comprimido existentes en una red de aire comprimido, tanto en la situación inicial como en la situación mejorada. Para esta última situación, se supondrá que las causas de las fugas han sido reparadas y, por tanto, eliminadas.

## SITUACIÓN ACTUAL

### 1. Datos requeridos

En la tabla siguiente se resumen los datos que se necesitarán para evaluar la eficiencia energética de la situación actual, es decir, la situación previa a la implantación de la medida de ahorro.

Tabla 42. Datos requeridos para la evaluación de la situación inicial

| Datos requeridos                               | Unidades           | Valor actual |
|--|--------------------|--------------|
| Potencia en carga del compresor                | kW                 | 210          |
| Potencia en descarga de compresor              | kW                 | 31           |
| Caudal nominal del compresor                   | Nm <sup>3</sup> /h | 958          |
| Tiempo en carga en condiciones de operación    | s                  | 181          |
| Tiempo en descarga en condiciones de operación | s                  | 14           |
| Tiempo en carga ensayo                         | s                  | 70           |
| Tiempo en descarga ensayo                      | s                  | 150          |

## 2. Evaluación de las pérdidas energéticas

Para la cuantificación de las fugas existentes en la red, se realizan mediciones de la producción de aire comprimido en un compresor de la red con todas las demandas de aire comprimido apagadas. En esta situación, la producción de aire comprimido del compresor será igual al caudal de fugas de la red.

## 3. Resultados

A continuación se muestran los resultados de la cuantificación del caudal de fugas realizado:

Tabla 43. Caudales y potencia eléctrica consumida en la situación actual

| Resultados         | Unidades | Valor actual |
|--------------------|----------|--------------|
| Caudal fugas       | Nm3/h    | 305          |
| Caudal útil        | Nm3/h    | 584          |
| Potencia útil      | kW       | 128          |
| Pérdidas por fugas | kW       | 67           |
| Pérdidas descargas | kW       | 2            |

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

No se requieren más datos para la evaluación de la situación mejorada, dado que la medida consistiría en la reparación de las fugas existentes.

### 2. Evaluación de las pérdidas energéticas

Tras la reparación de las fugas, el caudal de operación coincide con el caudal útil, al ser nulo el caudal de fugas. Para calcular, en esta situación, el régimen de carga del compresor (el tiempo que está en carga y en descarga), se compara el caudal útil con el caudal nominal del compresor.

### 3. Resultados

Los resultados de la evaluación de las pérdidas en la situación mejorada serán los siguientes:

Tabla 44. Caudales y potencia eléctrica consumida en la situación mejorada

| Resultados         | Unidades | Valor actual |
|--------------------|----------|--------------|
| Caudal fugas       | Nm3/h    | 0            |
| Caudal útil        | Nm3/h    | 584          |
| Potencia útil      | kW       | 128          |
| Pérdidas por fugas | kW       | 0            |
| Pérdidas descargas | kW       | 12           |

Hemos de destacar que, al disminuir el caudal de aire comprimido generado, el compresor estará mayor tiempo funcionando en descarga. Por ello, las pérdidas en la situación mejorada debidas al tiempo que el compresor entra en descarga, son mayores (9% situación mejorada frente a un 1% en la situación actual). Sin embargo, la suma de pérdidas debida a las fugas y al tiempo que entra en descarga el compresor es menor en la situación mejorada (9% situación mejorada frente a 35% en la situación actual).

### 6.3.3 Evaluación energética

La finalidad de este apartado es evaluar la energía consumida en la red de aire comprimido en la situación actual y la energía consumida tras reparar las fugas. La comparación de ambas situaciones, nos permitirá calcular el ahorro energético anual obtenido.

#### 1. Datos requeridos

Se supone un total de 8.000 horas de funcionamiento para el sistema de aire comprimido.

#### 2. Evaluación del ahorro energético anual

La evaluación del ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y la mejorada.

Tabla 45. Ahorro energético anual

| Consumo energético (kWh) |                    | Ahorro energético |    |
|--------------------------|--------------------|-------------------|----|
| Situación actual         | Situación mejorada | kWh/año           | %  |
| 1.576.800                | 1.120.000          | 456.800           | 29 |

### 6.3.4 Evaluación económica

#### 1. Datos requeridos

Se supone un precio para el gas natural de 0,01 €/kWh

#### 2. Coste energía consumida

La evaluación del ahorro se realiza mediante la comparación de la situación actual y la mejorada.

Tabla 46. Ahorro económico anual

| Coste energético (€) |                    | Ahorro económico |    |
|----------------------|--------------------|------------------|----|
| Situación actual     | Situación mejorada | €/año            | %  |
| 126.144              | 89.600             | 36.544           | 29 |

#### 3. Evaluación de la rentabilidad económica

El desglose de la inversión requerida para la implantación de la medida es el siguiente:

- Detección de los puntos de fuga de la red.
- Reparación de las fugas: Mano de obra.
- Establecimiento de un plan de mantenimiento de la red de aire comprimido, necesario para evitar estas pérdidas en el futuro y mantener los ahorros calculados.

Esta inversión se puede considerar, en muchos casos, exentas de costes, dado que puede llevarse a cabo por el propio personal de mantenimiento.

Tabla 47. Periodo de retorno de la inversión

|                    |       |        |
|--------------------|-------|--------|
| Ahorro anual       | €/año | 36.544 |
| Inversión          | €     | Nula   |
| Periodo de retorno | meses | 0      |



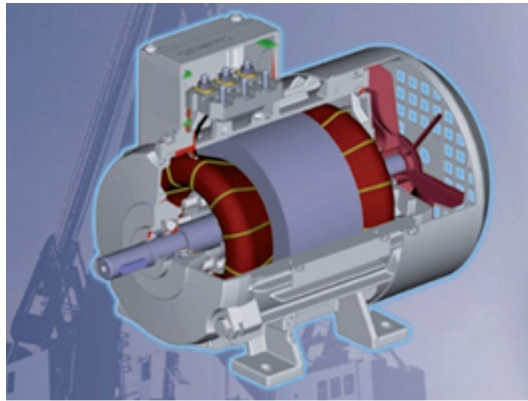
7

**Ahorro energético  
en motores  
eléctricos**

## 7.1 Introducción

Los motores eléctricos son dispositivos electromecánicos rotativos que, mediante un campo magnético, convierten la energía eléctrica, procedente de una fuente continua o alterna, en mecánica, que a su vez sirve para el accionamiento de equipos industriales mediante un eje rotatorio.

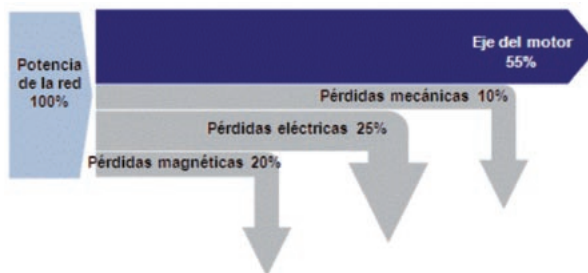
Fig. 39: Representación tridimensional de un motor de inducción



Aunque existen diversos tipos de motores eléctricos, los que tienen mayor relevancia desde el punto de vista de su aplicación industrial, son los motores de inducción. El motor de inducción es posiblemente una de las máquinas eléctricas más extendidas en la industria, dado su simplicidad, bajo coste, economía y fiabilidad.

La conversión de la energía en los motores eléctricos no es ideal, puesto que lleva asociada unas pérdidas, generalmente pequeñas, que hacen que la temperatura del motor se eleve sobre la del ambiente y, por tanto, que el motor consuma más energía de la que transforma en energía mecánica.

Fig. 40: Esquema de las pérdidas en un motor eléctrico.



Son de muy diversos tipos las pérdidas que ocurren dentro de un motor eléctrico de corriente alterna, sin embargo, básicamente se pueden clasificar en las siguientes:

- Pérdidas magnéticas. Se producen al variar la dirección de la corriente alterna. Esta energía perdida se manifiesta en forma de calor.
- Pérdidas en los devanados. Estas pérdidas se deben al efecto joule que se produce por la corriente al pasar por el alambre de los devanados; estas representan aproximadamente el 60% del total de las pérdidas en el motor.

- Pérdidas por fricción y ventilación. Se tratan de pérdidas mecánicas. Estas pérdidas pueden alcanzar valores de hasta del 8% del total de las pérdidas del motor.
- Pérdidas indeterminadas. Se producen, sobre todo, por las variaciones del flujo eléctrico provocadas, a su vez, por distorsiones en la corriente de alimentación del motor. Estas pérdidas pueden llegar a ser de hasta el 14% del total de las pérdidas del motor.

Tabla 48. Pérdidas típicas en motores de inducción

| Pérdidas        | Valores típicos (%) | Elementos  | Factores que las afectan                          |
|-----------------|---------------------|--|---|
| Magnéticas.     | 15 al 25            | Estator y rotor.                                     | Calidad y cantidad del acero.                     |
| Eléctricas.     | 15 al 40            | Estator y rotor.                                     | Calibre y calidad del conductor de los devanados. |
| Mecánicas.      | 5 al 15             | Ventilador externo, ventilador interno, rodamientos. | Diseño y calidad de los materiales                |
| Indeterminadas. | 10 al 20            | Rotor, estator, ventilador, etc.                     | Diseño y fabricación.                             |

La eficiencia de un motor se define como la relación entre la potencia de salida y la potencia de entrada; es decir,

$$\text{Eficiencia } (\eta) = \frac{\text{Potencia de salida}}{\text{Potencia de entrada}} [\%]$$

## 7.2 Medidas de ahorro y eficiencia energética

### 7.2.1 MAEE 5.1: Utilización de motores de alto rendimiento

#### 1. Descripción

En la actualidad, se están fabricando motores eléctricos de inducción de corriente alterna de alta eficiencia, ya que estos nuevos motores tienen un menor consumo de energía y, sin embargo, pueden transmitir la misma potencia de salida que un motor de eficiencia estándar.

Fig. 41: Motor Siemens de alta eficiencia





Los motores estándar tienen una eficiencia que varía entre el 80 y 90%, mientras que en los motores de alta eficiencia esta varía entre 87 y 96%.

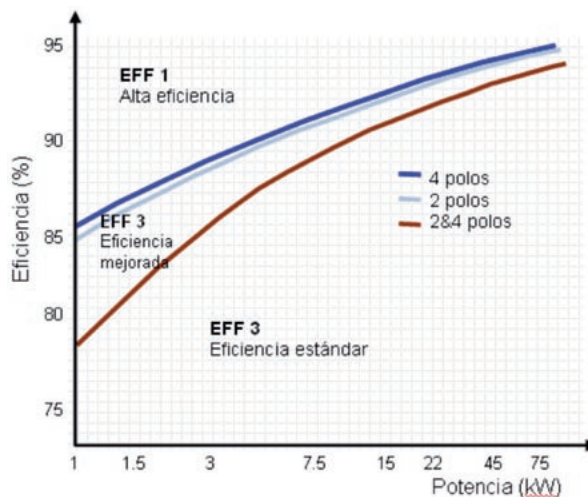
Al diseñar y fabricar motores de alta eficiencia, se tiene especial cuidado en reducir las pérdidas en el motor, pero, como consecuencia de ello, se incrementa el costo de dichos motores, ya que en su fabricación se emplean: Materiales de mejor calidad, estatores más grandes, mayor cantidad de cobre en los devanados, rodamientos especiales, acero de mayor calidad, diseños nuevos en sus componentes, etc.

Sin embargo, el uso de un motor de alta eficiencia, en comparación con otro de eficiencia estándar, es bastante más atractiva económica y técnicamente. El mayor coste de la inversión que ello supone, queda compensado por una menor tasa de retorno de la misma.

## 2. Implementación de esta medida de ahorro

En la Unión Europea existe una clasificación energética de motores creada por el CEMEP (European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics). En dicha clasificación, para los motores de cuatro polos, se establecen tres tipos de motores según su rendimiento. Tal y como se muestra a continuación en el gráfico, los motores EFF1 corresponden a los de mayor eficiencia energética, mientras que los motores EFF3 serían los menos eficientes. En el gráfico se muestran los rangos de rendimiento para cada uno de estas clases de motores hasta 75 kW.

Fig. 42: Clasificación energética de motores eléctricos en la Unión Europea.



Dada la diversidad de clasificaciones energéticas de motores eléctricos que existen en el mundo (europea, norteamericana, australiana, china, japonesa, brasileña,...), para crear un sistema único el International Electrotechnical Commission (IEC) emitió en octubre de 2008 la norma IEC 60034-30 "Rotating electrical machines" (Máquinas eléctricas rotativas).

En Europa se asume esta norma en el Reglamento (CE) N° 640/2009 de la Comisión de 22 de julio de 2009, por el que se aplica la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico para los motores eléctricos.

Esta normativa establece una nueva clasificación energética que sustituye a la clasificación CEMEP:

- IE3: Eficiencia “Premium”
- IE2: Alta eficiencia
- IE1: Eficiencia estándar

En una comparación directa entre ambas clasificaciones, la categoría EFF2 equivale a la IE1 y la EFF1 a la IE2, estableciéndose un nivel más alto de eficiencia: IE3. Esta clasificación es aplicable en la Unión Europea a motores asíncronos de baja tensión de potencia comprendida entre 0,75 y 375 kW, para 2, 4 y 6 polos.

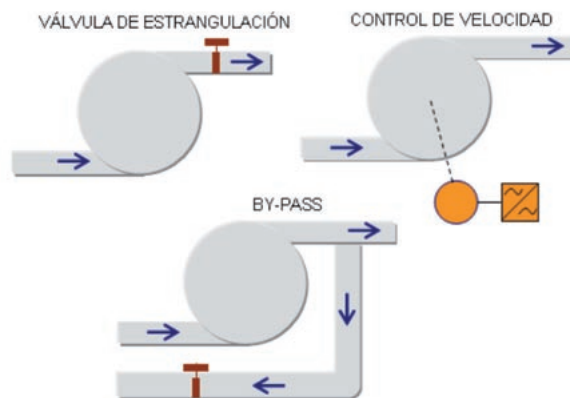
A diferencia de la clasificación CEMEP, no se trata de un acuerdo voluntario entre fabricantes que comercializan sus motores en territorio europeo, sino que es de obligado cumplimiento. De hecho, a partir del 16 de junio de 2011, solo podrán comercializarse en el mercado europeo motores de 2 a 6 polos que como mínimo tengan una eficiencia energética IE2 (la equivalente a la actual EFF1).

## 7.2.2 MAEE 5.2: Instalación de variadores de frecuencia

### 1. Descripción

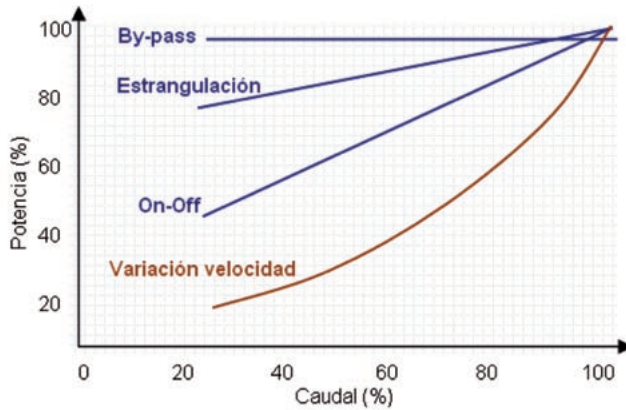
La mayor parte de las bombas, compresores y ventiladores de uso industrial funcionan a velocidad constante. Esto obliga a ajustar el caudal suministrado por estos equipos aumentando artificialmente las pérdidas del sistema, por medio de algún dispositivo de estrangulamiento, que suele ser una válvula de ajuste o control en las aplicaciones de bombeo o las rejillas de control de tiro en ventilación. Este procedimiento lleva consigo que se produzcan unas pérdidas elevadas que suelen denominarse pérdidas por estrangulamiento. Estas pérdidas podrían evitarse dejando los dispositivos de estrangulamiento completamente abiertos (o eliminándolos) y utilizando un accionamiento de corriente alterna (motor de inducción) con velocidad variable para ajustar la capacidad de funcionamiento.

Fig. 43: Esquemas de regulación de caudal en bombas centrífugas



Como se puede observar en el gráfico, la regulación electrónica de velocidad se presenta como el método más eficaz de regular el caudal.

Fig. 44: Variación de la potencia frente al caudal en función del tipo de regulación.



La regulación por by-pass puede resultar la más adecuada desde punto de vista del mantenimiento, ya que ahorra arranques y paradas, sin embargo, presenta el inconveniente de no reducir la potencia demandada al motor cuando se disminuye el caudal. Representa, pues, el método de regulación más pobre desde el punto de vista energético.

Fig. 45: Cuadro de variadores



La opción de marcha-parada, por arranque directo o estrella-triángulo es poco conveniente, pues conlleva una regulación demasiado escalonada, un elevado número de averías y el envejecimiento prematuro de la instalación.

La regulación por válvula de estrangulamiento es la más extendida en la industria, aunque se puede conseguir ahorrar más energía y alargar aún más la vida de la instalación al instalar un regulador, debido a que consigue arranques y frenados más suaves. El regulador electrónico de velocidad alarga la vida de la bomba, ya que ésta depende fundamentalmente del número de vueltas que da el rodete, además, mediante el regulador conseguimos la reducción del caudal a partir de una reducción de la velocidad.

## 2. Implementación de esta medida de ahorro

Aunque existen muchas razones que hacen aconsejable la utilización de motores de inducción con velocidad variable para el accionamiento de bombas y ventiladores, la reducción de los costes de explotación que lleva aparejada el ahorro energético que supone, suele ser el principal incentivo para su utilización.

Si bien es cierto que la sustitución de un sistema de velocidad constante por otro con velocidad variable conlleva un cierto ahorro energético y, en consecuencia, una reducción en los costes de explotación, la evaluación de estas reducciones energéticas y de costes suele exigir un completo análisis de la instalación. Dado que los equipos de control de velocidad de los motores de inducción son componentes relativamente costosos, el grado de reducción de los costes de explotación derivados del ahorro energético, debe ser lo suficientemente alto como para compensar el elevado costo inicial de adquisición de estos equipos de control. Esto reduce el número de aplicaciones en las que resulta rentable la utilización de accionamientos con velocidad variable. Por tanto, se deduce que, para cada accionamiento con velocidad variable, resulta fundamental llevar a cabo una evaluación económica realista del ahorro energético que implica, pues de ello va a depender una adecuada tasa de retorno de la inversión.

### 7.2.3 Tabla resumen

A continuación se ofrece una lista de las medidas de ahorro energético descritas en el apartado anterior, donde los valores de ahorro y períodos de amortización orientativos. Estos valores se han obtenido de varios estudios sobre auditorías realizados en distintos países. Los valores que se ofrecen son los promedios de los ofrecidos por dichos estudios.

Tabla 49. Tabla de valores medios de las inversiones asociadas a proyectos de ahorro en motores eléctricos

| LISTA DE MAEE EN INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE FRÍO. |  |            |          |                         |
|---|--|------------|----------|-------------------------|
| Tecnología  | Descripción de la medida.                  | Referencia | % Ahorro | Periodo de amortización |
| Motores eléctricos                                    | Utilización de motores de alto rendimiento | MAEE 5.1.  | 1,7      | 1,4 años                |
| Motores eléctricos                                    | Instalación de variadores de frecuencia    | MAEE 5.2.  | 3,8      | 2,1 años                |

## 7.3 Ejemplo de evaluación de la medida de ahorro “sustitución de motores por otros de alto rendimiento”

### 7.3.1 Descripción tecnológica de la medida

En aquellos motores que están trabajando durante un elevado número de horas al año, puede resultar ventajoso realizar la sustitución de dichos motores por otros de elevado rendimiento. Los motores convencionales son de menor coste que los motores de elevado rendimiento, pero si tenemos en consideración el coste de las pérdidas a lo largo de la vida útil del motor, dado los actuales precios elevados de la energía, los motores de alto rendimiento resultan ser una opción que debería estimarse.

La medida de ahorro descrita a continuación, consiste en la sustitución de varios de los motores de una factoría por motores de alto rendimiento.

### 7.3.2 Estimación de eficiencia energética

El objeto de este apartado es describir los datos necesarios y el procedimiento a seguir para evaluar la sustitución de motores estándar por motores de alto rendimiento.

Para caracterizar los motores a sustituir, es necesario conocer los mayores consumidores de la instalación. Se tomarán como candidatos para el estudio de mejora aquellos motores de mayor consumo energético, es decir, los de mayor potencia y mayor número de horas de funcionamiento.

#### SITUACIÓN ACTUAL

##### 1. Datos requeridos

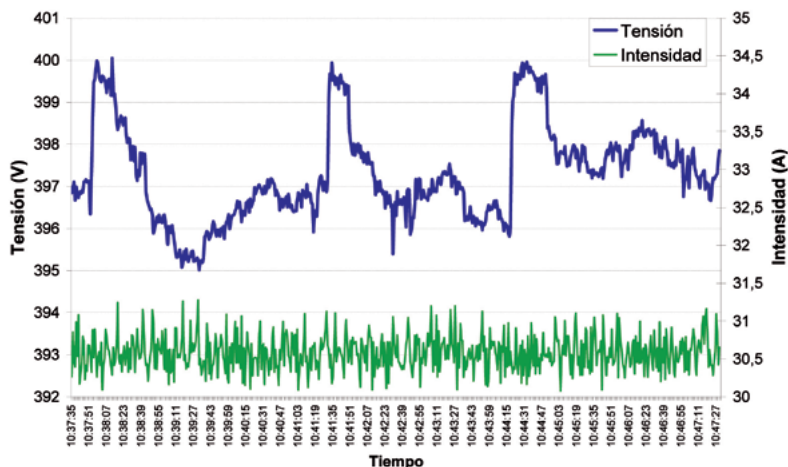
Se han seleccionado los motores de mayor consumo energético de una planta industrial; es decir, los que poseen las mayores potencias y el mayor número de horas de funcionamiento. Los motores a analizar son los que se detallan en la tabla siguiente:

Tabla 50. Características de los motores eléctricos analizados

| Aplicación   | Datos de los motores a analizar |                        |                       |                    |                 |                    |                       |
|--------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------------|
|              | Tensión nominal (V)             | Intensidad nominal (A) | Potencia nominal (kW) | Rendimiento $\eta$ | Velocidad (rpm) | Tensión medida (V) | Intensidad medida (A) |
| Bomba 1      | 400                             | 40.5                   | 22                    | 88,4               | 1470            | 397.3              | 30.58                 |
| Bomba 2      | 380                             | 45                     | 22                    | 87                 | 1460            | 405                | 27.5                  |
| Bomba 3      | 380                             | 92                     | 45                    | 89                 | 1470            | 392                | 55                    |
| Ventilador 1 | 380                             | 144                    | 75                    | 89                 | 1470            | 392                | 55                    |

A continuación se muestran algunas de las mediciones realizadas durante los trabajos de campo para los distintos motores en un periodo de 10 minutos.

Fig. 46: Evolución de tensión e intensidad de la bomba 2 durante la medida



## 2. Evaluación eficiencia energética

Se calcula la potencia demandada por el motor en las condiciones de funcionamiento.

Para la estimación de este valor, se realizan mediciones de tensión e intensidad del motor en cuestión. Estas medidas deben ser rectificadas mediante el método de intensidad corregida. Comparando estos valores con los valores de diseño, se obtiene el factor real de carga.

## 3. Resultados

A continuación se presentan los resultados del análisis realizado sobre la situación original de los motores:

Tabla 51. Pérdidas de los motores eléctricos analizados

| Aplicación   | Datos de los motores a analizar |                        |                         |               |
|--------------|---------------------------------|------------------------|-------------------------|---------------|
|              | Factor de carga                 | Potencia mecánica (kW) | Potencia eléctrica (kW) | Pérdidas (kW) |
| Bomba 1      | 75%                             | 16,5                   | 18,7                    | 2,2           |
| Bomba 2      | 60%                             | 13,2                   | 15,2                    | 2,0           |
| Bomba 3      | 60%                             | 27                     | 30,3                    | 3,3           |
| Ventilador 1 | 30%                             | 22,5                   | 25,3                    | 2,8           |

## SITUACIÓN MEJORADA

### 1. Datos requeridos

Tras consultar con los fabricantes de los motores de alto rendimiento que sean más acordes a las necesidades de las instalaciones que se está analizando, se proponen los siguientes motores:

Tabla 52. Características de motores propuestos

| Aplicación   | Datos de los motores a analizar |                    |           |
|--------------|---------------------------------|--------------------|-----------|
|              | Potencia (kW)                   | Rendimiento $\eta$ | Carga (%) |
| Bomba 1      | 22                              | 93,5%              | 75%       |
| Bomba 2      | 22                              | 92,6%              | 60%       |
| Bomba 3      | 45                              | 94,4%              | 60%       |
| Ventilador 1 | 37                              | 94,0%              | 60,6%     |

En los estudios llevados a cabo, se observó que el ventilador estaba sobredimensionado, teniendo este un factor de carga del 30%, por ello se ha seleccionado un motor cuya potencia esté acorde a las necesidades de la instalación. En el resto de los motores, no se observó que estuviesen sobredimensionados y se mantienen los factores de carga, al ser los motores seleccionados de la misma potencia que los existentes.

## 2. Resultados

La evaluación de la nueva situación se realiza de modo análogo al anterior, siendo los resultados correspondientes de la situación mejorada los siguientes:

Tabla 53. Pérdidas de los motores propuestos

| Aplicación   | Datos de los motores a analizar |                         |               |
|--------------|---------------------------------|-------------------------|---------------|
|              | Potencia mecánica (kW)          | Potencia eléctrica (kW) | Pérdidas (kW) |
| Bomba 1      | 16,5                            | 17,6                    | 1,1           |
| Bomba 2      | 13,2                            | 14,3                    | 1,1           |
| Bomba 3      | 27                              | 28,6                    | 1,6           |
| Ventilador 1 | 22,4                            | 23,9                    | 1,5           |

### 7.3.3 Evaluación energética

#### 1. Evaluación del consumo y el ahorro energético anual

Considerando un total de 8.000 horas de funcionamiento para los motores analizados, se tienen los siguientes resultados en cuanto a consumo energético anual y al ahorro que supone la situación mejorada:

Tabla 54. Ahorro de energía eléctrica anual

| Situación | Energía eléctrica (kWh/año) |         |         |              |         |
|-----------|-----------------------------|---------|---------|--------------|---------|
|           | Bomba 1                     | Bomba 2 | Bomba 3 | Ventilador 1 | Total   |
| ACTUAL    | 149.600                     | 121.600 | 242.400 | 202.400      | 716.000 |
| MEJORADA  | 140.800                     | 114.400 | 228.800 | 191.200      | 675.200 |
| AHORRO    | 8.800                       | 7.200   | 13.600  | 11.200       | 40.800  |
| % AHORRO  | 5,9%                        | 5,9%    | 5,6%    | 5,5%         | 5,7%    |

### 7.3.4 Evaluación económica

#### 1. Evaluación del coste y del ahorro económico

Suponiendo un precio de la energía eléctrica igual a 0,01 €/kWh, se evaluará el coste y el ahorro de la medida mediante la comparación de la situación actual y la mejorada.

Tabla 55. Coste energético y ahorro económico anual

| Situación | Coste energético (€/año) |         |         |              |        |
|-----------|--------------------------|---------|---------|--------------|--------|
|           | Bomba 1                  | Bomba 2 | Bomba 3 | Ventilador 1 | Total  |
| ACTUAL    | 14.960                   | 12.160  | 24.240  | 20.240       | 71.600 |
| MEJORADA  | 14.080                   | 11.440  | 22.880  | 19.120       | 67.520 |
| AHORRO    | 880                      | 720     | 1.360   | 1.120        | 4.080  |
| % AHORRO  | 5,9%                     | 5,9%    | 5,6%    | 5,5%         | 5,7%   |

## 2. Evaluación de la rentabilidad económica

El desglose de la inversión requerida para la implantación de la medida es el siguiente:

- Motores de alto de rendimiento: 2.250 € cada motor (precio medio de los 4 motores)
- Instalación: 200 € cada motor

Tabla 56. Tiempo de retorno de la inversión

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Ahorro anual       | €/año | 4.080 |
| Inversión          | €     | 9.800 |
| Periodo de retorno | Años  | 2,4   |

Considerando el sobrecoste entre los motores de alta eficiencia y los motores sin calificación energética, el periodo de retorno simple se reduciría a 1,3 años:

Tabla 57. Tiempo de retorno de la sobreinversión

|                    |       |       |
|--------------------|-------|-------|
| Ahorro anual       | €/año | 4.080 |
| Sobre-Inversión    | €     | 5.500 |
| Periodo de retorno | años  | 1,3   |







# Ejemplo de auditoría energética

## 8.1 Descripción de la industria

La factoría objeto de la auditoría pertenece al sector de la industria alimentaria. En dicha planta se producen cinco tipos de producto de diversa naturaleza.

A continuación se detallaran las instalaciones y equipos que contribuyen al consumo energético de la industria auditada.

### 8.1.1 Calderas de producción de vapor

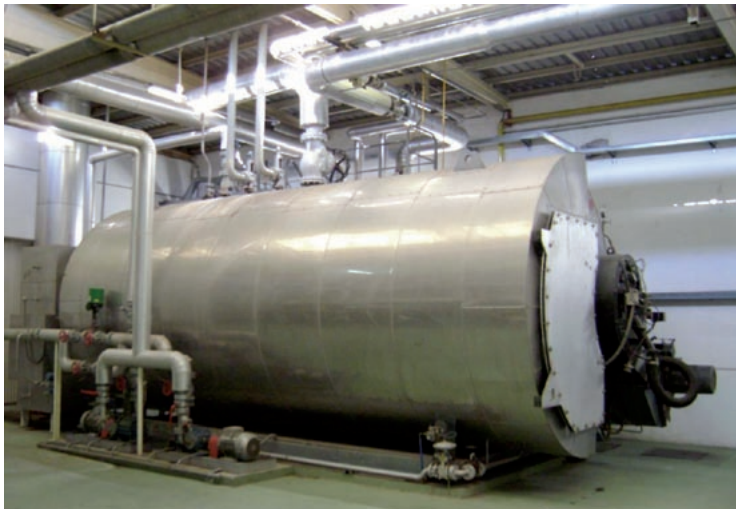
La red de vapor de la factoría se compone de dos niveles distintos de presión: Uno de alta y otro de media presión. Las distintas áreas son alimentadas por vapor a estas presiones, dependiendo de las necesidades productivas.

La producción de dicho vapor se realiza en calderas de distinta presión y tipología.

#### 1. Red de vapor de media presión

Existen dos calderas de media presión, descargando ambas en el mismo colector de vapor: Una, normalmente en servicio, y otra de apoyo, que entra en servicio cuando la demanda total de vapor es superior a la capacidad de la caldera principal.

Fig. 47: Caldera de vapor de baja presión.



#### 2. Redes de vapor de alta presión

Existen tres calderas de alta presión, pirotubulares de vaporización instantánea. Cada una ellas alimenta a una líneas de vapor de alta presión.

Fig. 48: Caldera de vaporización instantánea



### 3. Especificaciones de las calderas

A continuación se muestran las características técnicas de las calderas existentes en la planta:

Tabla 58. Datos técnicos de las calderas

| Caldera                | Vapor             | Presión de servicio (bar) | Caudal de trabajo (t/h) | Tª (°C) | Categoría | Estado de funcionamiento |
|------------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|---------|-----------|--------------------------|
| Caldera Piro-tubular 1 | Vapor saturado    | 12                        | 10                      | 180     | B         | Servicio                 |
| Caldera Piro-tubular 2 | Vapor saturado    | 12                        | 15                      | 180     | B         | Auxiliar                 |
| Caldera Piro-tubular 3 | Vapor recalentado | 70                        | n/a                     | 285     | C         | Servicio L1              |
| Caldera Piro-tubular 4 | Vapor recalentado | 70                        | n/a                     | 285     | C         | Servicio L2              |
| Caldera Piro-tubular 5 | Vapor recalentado | 75                        | 1,710                   | 291     | C         | Servicio L3              |

### 4. Agua de alimentación de calderas

Una parte del agua de alimentación a la caldera de media presión es agua tratada por ósmosis inversa, y el resto es condensado de retorno de la planta. Aproximadamente el 30% del vapor que se envía a la planta retorna a un tanque de condensado tras su empleo. El agua es desgasificada antes de ser introducida en las calderas.

El agua de alimentación de las calderas de alta presión es agua osmotizada y desgasificada mediante la adición de un secuestrante.

Fig. 49: Depósito de mezcla de condensados y agua tratada para la de alimentación de calderas.



## 8.1.2 Instalaciones de refrigeración

### 1. Torres de refrigeración

Existen cinco torres de refrigeración que dan servicio a la planta. A continuación se detallan las características técnicas de las mismas:

Tabla 59. Características de las torres de refrigeración de la planta

| Torre de enfriamiento | Capacidad frigorífica (kcal/h) | Salto temperatura (°C) | Caudal recirculado (m³/h) |
|-----------------------|--------------------------------|------------------------|---------------------------|
| Torre 1               | 2.964.000                      | 6                      | 360                       |
| Torre 2               | 1.500.000                      | 6                      | 150                       |
| Torre 3               | 1.500.000                      | 6                      | 150                       |
| Torre 4               | 1.000.000                      | 14                     | 62                        |
| Torre 5               | 200.000                        | 10                     | 50                        |

Fig. 50: Torre de refrigeración



## 2. Plantas enfriadoras.

Seis plantas enfriadoras dan servicio a la planta. A continuación se detallan las características técnicas de las mismas:

Tabla 60. Características de la planta enfriadora

|                           | P.E. 1             | P.E. 2 | P.E. 3             | P.E. 4 | P.E. 5 | P.E. 6 |
|---------------------------|--------------------|--------|--------------------|--------|--------|--------|
| Potencia Frigorífica (kW) | 274                | 331.5  | 496.12             | 465.12 | 465.12 | 1160   |
| Potencia Eléctrica (kW)   | 99.3               | 166.4  | -                  | -      | -      | -      |
| Caudal agua (l/s)         | 13                 | 15.8   | -                  | -      | -      | -      |
| Refrigerante              | R 134 <sup>a</sup> | R 134a | R 134 <sup>a</sup> | R 22   | R 22   | R 134a |

Fig. 51: Planta enfriadora



### 8.1.3 Sistemas de aire comprimido.

El sistema de aire comprimido de la factoría se compone de dos niveles de presión: Uno de alta y otro de baja presión. En función de la calidad exigida del aire, se utilizan un tipo de compresor u otro.

La producción de aire comprimido de alta presión (42 bares) se produce en compresores alternativos de pistón. Cada uno de estos compresores se encuentra asociado a una línea de producción.

Fig. 52: Compresor de alta presión.



La red de aire comprimido de baja presión (8-10 bar) utiliza compresores de tornillos en grupo de dos o tres de estos compresores.

A continuación se detallan las características técnicas de los compresores de la planta:

Tabla 61. Datos técnicos de los compresores

| COMPRESOR | CAUDAL            |                     |        | PRESIÓN TRABAJO<br>(bar) | POTENCIA (kW) |
|-----------|-------------------|---------------------|--------|--------------------------|---------------|
|           | m <sup>3</sup> /h | m <sup>3</sup> /min | l/min  |                          |               |
| Baja 1    | 198               | 3,3                 | 3.300  | 7,5                      | 18,5          |
| Baja 2    | 184,2             | 3,07                | 3.070  | 7                        | 18            |
| Baja 3    | 1019,4            | 16,99               | 16.990 | 7                        | 128,9         |
| Baja 4    | 1068              | 17,8                | 17.800 | 7                        | 123,7         |
| Baja 5    | 1458              | 24,3                | 24.300 | 7                        | 132           |
| Baja 6    | 726               | 12,1                | 12.100 | 10                       | 84,5          |
| Baja 7    | 637               | 10,62               | 10.620 | 8,2                      | 73,5          |
| Baja 8    | 637               | 10,62               | 10.620 | 8,2                      | 73,5          |
| Baja 9    | 818               | 13,63/10,67         | 13.630 | 5-13                     | 75            |
| Baja 10   | 818               | 13,63/10,67         | 13.630 | 5-13                     | 75            |
| Baja 11   | 433               | 7,22                | 7.220  | 7                        | 44            |
| Alta 1    | 679,8             | 11,33               | 11.330 | 42                       | 110           |
| Alta 2    | 1213              | 20,22               | 20.220 | 42                       | 235,4         |

### 8.1.4 Motores eléctricos.

La mayor parte de los motores eléctricos instalados en la planta industrial son de pequeña potencia y destinados principalmente a aplicaciones de bombeo.

Fig. 53: Motor de bomba.



Se especifican a continuación aquellos motores que, debido tanto a las características de la aplicación como a la potencia nominal, ofrecen un potencial considerable de ahorro energético:

Tabla 62. Datos técnicos de los motores eléctricos analizados

| Aplicación | Datos motor |                |               |                 |
|------------|-------------|----------------|---------------|-----------------|
|            | Tensión (V) | Intensidad (A) | Potencia (kW) | Velocidad (rpm) |
| Bomba 1    | 400         | 40.5           | 22            | 1.470           |
| Bomba 1    | 380         | 45             | 22            | 1.460           |
| Bomba 1    | 380         | 92             | 45            | 1.470           |
| Ventilador | 380         | 144            | 75            | 1.470           |

## 8.2 Estructura energética

### 8.2.1 Producción anual

Las producciones anuales, durante los años 2007 y 2008, de los diferentes productos alimenticios fabricados en la planta objeto de esta auditoría, se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 63. Producción año 2007 y 2008 (kg)

| Año  | Producto nº1 | Producto nº2 | Producto nº3 | Producto nº4 | Producto nº5 |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 2007 | 70.252.987   | 29.051.713   | 107.046.324  | 9.305.755    | 5.920.154    |
| 2008 | 79.241.000   | 26.734.760   | 52.691.860   | 8.189.415    | 6.106.095    |



## 8.2.2 Facturación energética

### 1. Gas natural

La factoría consume gas natural y energía eléctrica. En la siguiente tabla se resume el consumo anual y la factura del gas natural consumido durante los años 2007 y 2008.

Tabla 64. Consumo y factura del gas natural utilizado en la producción, así como el precio medio del gas natural (€/kWh)

| Año  | Consumo gas (kWh) | Total factura (€) | Precio medio (€/kWh) |
|------|-------------------|-------------------|----------------------|
| 2007 | 44.223.825        | 1.091.704         | 0,025                |
| 2008 | 49.172.438        | 1.438.558         | 0,029                |

El gas natural se utiliza principalmente en las dos calderas piro-tubulares, las cuales producen vapor a 11 bares, alcanzando una producción media de 7,7 t/h a lo largo del año 2008. También se emplea en tres calderas de vapor sobrecalentado de alta presión (70 bar), estando el vapor confinado en un circuito cerrado.

El precio de la t/h de vapor fue en el año 2007 de 21,17 €/t. El precio estimado para la tonelada de vapor en el año 2008, teniendo en cuenta únicamente el cambio de precio sufrido por el gas natural, es de 24,25 €/t.

### 2. Consumo eléctrico

La instalación eléctrica de la planta industrial tiene dos acometidas en 20 kV que conectan con la red de distribución. A partir de las mismas se alimentan a dos centros de transformación: CT1 y CT2.

En el centro de transformación CT1 se disponen dos transformadores de 2.000 kVA de potencia nominal que trabajan con el secundario en barra partida.

En el centro de transformación CT2 se tiene instalado un transformador de 1.600 kVA. En ambos centros existen baterías de condensadores que realizan la compensación de potencia reactiva de una forma centralizada. También en ambos centros existe un equipo de tarificación eléctrica, si bien la facturación de energía eléctrica se realiza de forma agregada. Realizada la reducción de tensión, se realiza la distribución eléctrica a la planta industrial en baja tensión a 400 V.

Tabla 65. Resumen de factura eléctrica para 2007 y 2008 y precio medio de electricidad anual

| Año  | Consumo eléctrico (kWh) | Total factura (€) | Precio medio (€/kWh) |
|------|-------------------------|-------------------|----------------------|
| 2007 | 13.069.879              | 1.069.259         | 0,0818               |
| 2008 | 12.741.000              | 1.015.434         | 0,0797               |

En la siguiente tabla puede observarse un resumen de los consumos y costes energéticos de la factoría durante los años 2007 y 2008.

Tabla 66. Consumos y costes energéticos durante los años 2007 y 2008

|              | Año   | Consumo energético |      | Coste     |      |
|--------------|-------|--------------------|------|-----------|------|
|              |       | kWh                | %    | €         | %    |
| Gas natural  | 2007  | 44.223.825         | 77,2 | 1.091.704 | 50,5 |
| Electricidad | 2007  | 13.069.879         | 22,8 | 1.069.259 | 49,5 |
|              | TOTAL | 57.293.704         |      | 2.160.963 |      |
| Gas natural  | 2008  | 49.172.438         | 79,4 | 1.438.558 | 58,6 |
| Electricidad | 2008  | 12.741.000         | 20,6 | 1.015.434 | 41,4 |
|              | TOTAL | 61.913.438         |      | 2.453.992 |      |

## 8.3 Proyectos de ahorro

### 8.3.1 Descripción de los proyectos

A continuación se describen brevemente los proyectos propuestos como resultado de la auditoría energética llevada a cabo en la planta. Se resumen los aspectos energéticos y económicos de cada uno de ellos en la tabla adjunta.

#### 1. Facturación

**P1.** Se ha realizado un estudio del contrato de suministro de energía eléctrica, comparando los precios de la energía y condiciones ofertados por diferentes comercializadoras.

#### 2. Instalación eléctrica

**P2.** Se ha realizado una revisión cualitativa de las diferentes tecnologías de alumbrado utilizado en la planta industrial, proponiéndose la introducción de nuevas tecnologías.

**P3.** Se ha evaluado para algunos motores específicos su grado de carga en relación a su potencia nominal, así como su posible sustitución por otros de elevado rendimiento.

**P4.** Se han evaluado los procesos de bombeo en los que es posible introducir accionamientos de velocidad variable como estrategia para reducir el consumo energético.

#### 3. Instalaciones de refrigeración

**P5.** Se ha evaluado para los motores que alimentan a las bombas de las torres la instalación de variadores de frecuencia, para adaptar su velocidad y su consumo a las posibles variaciones de caudal.

**P6.** Se ha propuesto la sustitución de agua de torre en una de las líneas por un fluido frío de proceso que requería de un precalentamiento previo.

**P7.** Se ha analizado la viabilidad del enfriamiento regenerativo de uno de los productos de la fábrica antes de su almacenamiento, mediante un intercambiador. De esta forma se reduce el consumo energético al calentar de forma gratuita otra corriente del proceso.

#### 4. Sistema de aire comprimido

- P8. Se ha realizado el análisis de viabilidad económica de un kit de recuperación de aire comprimido para una de las sopladoras
- P9. Se ha realizado el análisis del sistema de recuperación de energía del compresor de alta.
- P10. Se han estudiado las pérdidas económicas que suponen las fugas en los sistemas de aire comprimido de alta.

#### 5. Calderas de vapor

- P11. Se ha propuesto un ajuste de la combustión en la caldera de media presión, con el objetivo de reducir el contenido de oxígeno en los gases de escape de la misma.
- P12. Se ha estudiado la posible instalación de un nuevo desgasificador para la caldera de media presión, con el objeto de combatir los problemas de corrosión producidos por los gases incondensables presentes en el agua, tales como el oxígeno o el dióxido de carbono.
- P13. Se ha propuesto un ajuste de la combustión en las calderas de alta presión con el objetivo de reducir el contenido de oxígeno.

#### 6. Pérdidas térmicas

- P14. Se han calculado las pérdidas asociadas a los tramos de tuberías sin aislar, válvulas, bridas y filtros de gran tamaño y otros elementos en los que el aislamiento no es el adecuado.

#### 7. Red de vapor

- P15. Se ha realizado el análisis del funcionamiento de los purgadores que posee la fábrica, entre los cuales se detectaron tanto fugas parciales como totales.
- P16. Se detectaron purgadores que vertían los condensados directamente a la atmósfera sin recuperación del mismo, proponiendo como proyecto la recuperación total de estos condensados.

### 8.3.2 Resumen de proyectos de ahorro e inversión asociada

A continuación se muestra un resumen de los ahorros asociados a los proyectos anteriormente descritos, así como la inversión prevista para cada uno de ellos:

Tabla 67. Resumen de los proyectos de ahorro detectados en la auditoría

| Área                           | Descripción del proyecto | Ahorro (€/año) | Inversión |      |       |      |
|--------------------------------|--------------------------|----------------|-----------|------|-------|------|
|                                |                          |                | Nula      | Baja | Media | Alta |
| Facturación                    | P1                       | 10.000         |           |      |       |      |
| Instalaciones eléctricas       | P2                       | 9.100          |           |      |       |      |
|                                | P3                       | 3.300          |           |      |       |      |
|                                | P4                       | 1.000          |           |      |       |      |
| Instalaciones de refrigeración | P5                       | 10.200         |           |      |       |      |
|                                | P6                       | 58.000         |           |      |       |      |
|                                | P7                       | 52.300         |           |      |       |      |
| Sistema de aire comprimido     | P8                       | 9.000          |           |      |       |      |
|                                | P9                       | 1.900          |           |      |       |      |
|                                | P10                      | 3.200          |           |      |       |      |
| Calderas de vapor              | P11                      | 12.000         |           |      |       |      |
|                                | P12                      | 5.000          |           |      |       |      |
|                                | P13                      | 10.600         |           |      |       |      |
| Pérdidas térmicas              | P14                      | 8.600          |           |      |       |      |
| Red de vapor                   | P15                      | 10.800         |           |      |       |      |
|                                | P16                      | 71.000         |           |      |       |      |
|                                | Propuesto                | 276.000        |           |      |       |      |





**Herramientas  
informáticas para  
la realización  
de auditorías  
energéticas en la  
industria**

## 9.1 Objetivo

Para promover la realización de auditorías energéticas en centros industriales e incentivar la creación de un mercado estable de servicios energéticos para el sector industrial, la Agencia Andaluza de la Energía ha desarrollado e implementado un conjunto de herramientas on-line, que pone a disposición de las industrias y de los técnicos de las empresas de ingeniería energética.

Esta aplicación denominada Audit@ permite evaluar las medidas de ahorro energético más comunes de los equipo y servicio presentes en la industria, además de almacenar los resultados de las auditorías y realizar la toma de datos necesaria para la evaluación de la eficiencia energética de equipos de generación térmica y de sistemas energéticos en la industria.



El uso *on-line* puede ser abierto, pero si se quieren gestionar los informes y cálculos realizados con la herramienta, es preciso darse de alta en la aplicación. Para ello, bastará entrar en la web de la Agencia Andaluza de la Energía y en el buscador escribir Audita y solicitar el alta.

A screenshot of a web form titled 'Conexión' (Connection). The form has a light blue background and a blue border. At the top, there is a radio button selected next to the text 'Acceso mediante usuario registrado'. Below this, there are two input fields: 'Usuario' and 'Contraseña'. A blue link with an arrow icon and the text '¿Cómo registrarse?' is positioned below the input fields. At the bottom, there is another radio button next to the text 'Acceso mediante usuario no registrado'. A blue button with the text 'Aceptar' is located at the very bottom of the form.

## 9.2 Alcance de la herramienta

Audit@ permite realizar el análisis energético y la evaluación del rendimiento de calderas, hornos, secaderos, sistemas de producción de frío, redes de aire comprimido, motores eléctricos y redes de vapor.

Para usuarios registrados, la aplicación dispone incluso de un aplicativo para dispositivos móviles (PDA) para realizar la toma de datos en campo, que se conecta directamente al servidor de la Agencia y envía los datos.

Asimismo, mediante los correspondientes motores de cálculo, permite evaluar seis de las mejoras energéticas más habituales de cada uno de estos siete equipos y sistemas, obteniéndose como resultado el ahorro energético esperado, la reducción de emisiones prevista y la rentabilidad alcanzable.

Equipos instalados en la industria

Calderas Hornos Secaderos Sis. Prod. Frío Motores Elec. Redes Vapor S. Aire Comp.

Actualmente no consta registrado ningún equipo de esta categoría.

---

Tipo de Equipo  Año de Auditoría

Rendimiento  %

Mejora

Rendimiento con  %

- Seleccione una opción
- Cambio Combustible a Gas Natural
- Economizador
- Recuperación Condensados
- Recuperación de Purga
- Recuperador
- Rendimiento de Combustión

---

de Calor

|                                     | Porcentajes                         |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Calor de Combustión (kW)            | <input type="text" value="4263.6"/> | <input type="text" value="60.652"/> |
| Calor Sensible del Combustible (kW) | <input type="text" value="1200.0"/> | <input type="text" value="17.071"/> |

Las mejoras que se pueden evaluar, por equipo o sistema, son las siguientes:

#### Calderas:

- Mejora 1: Cambio de combustible
- Mejora 2: Instalación de un economizador de agua
- Mejora 3: Instalación de un recuperador
- Mejora 4: Control de la combustión
- Mejora 5: Recuperación de calor de purgas
- Mejora 6: Recuperación de Condensados



**Hornos:**

- Mejora 1: Cambio de combustible
- Mejora 2: Generación de fluido térmico
- Mejora 3: Sustitución de un horno por otro mas eficiente
- Mejora 4: Reducción de pérdidas por las paredes
- Mejora 5: Precalentamiento de la carga con los gases de salida
- Mejora 6: Precalentamiento del aire de combustión

**Secaderos:**

- Mejora 1: Cambio de combustible
- Mejora 2: Reducción de las pérdidas por paredes
- Mejora 3: Control de la combustión
- Mejora 4: Precalentamiento del aire
- Mejora 5: Recirculación parcial de vahos
- Mejora 6: Sustitución del secadero por otro mas eficiente

**Sistemas de producción de frío:**

- Mejora 1: Aumento de la temperatura de evaporación
- Mejora 2: Sustitución de torre de refrigeración
- Mejora 3: Disminución de la temperatura de condensación
- Mejora 4: Recuperación de calor del circuito de condensación
- Mejora 5: Instalación de acumuladores de frío
- Mejora 6: Introducción de variadores de frecuencia

**Motores eléctricos:**

- Mejora 1: Utilización de arrancadores suaves
- Mejora 2: Utilización de variadores de frecuencia
- Mejora 3: Instalación de variadores regenerativos
- Mejora 4: Sustitución de motores sobredimensionados
- Mejora 5: Uso del motor en el punto de máximo rendimiento
- Mejora 6: Sustitución del motor por otro de alto rendimiento

**Redes de vapor:**

- Mejora 1: Sustitución de purgadores
- Mejora 2: Recuperación de revaporizado
- Mejora 3: Eliminación de las laminaciones de vapor
- Mejora 4: Reducción de fugas en tuberías
- Mejora 5: Recuperación de condensado a presión
- Mejora 6: Calorifugado de tuberías y accesorios

**Sistemas de aire comprimido:**

- Mejora 1: Alimentación del aire a la máxima temperatura posible
- Mejora 2: Reducción de la presión del aire
- Mejora 3: Reducción de las fugas en paredes
- Mejora 4: Instalación de secadores eficientes
- Mejora 5: Sustitución del compresor por otro mas eficiente
- Mejora 6: Instalación de variadores de frecuencia

10

**Subvenciones para  
la realización  
de auditorías  
energéticas  
en la industria  
andaluza**

La Orden de 4 de febrero de 2009 (BOJA núm. 30 de 13 de febrero) es la base normativa del Programa de Subvenciones “Andalucía A+”, y constituye el instrumento a través del cual la Consejería de Economía, Innovación y Ciencia articula las subvenciones regladas para el impulso de los proyectos de aprovechamiento de energías renovables, ahorro y eficiencia energética y mejora de las infraestructuras energéticas en Andalucía.

La Orden de 7 de diciembre de 2010 (BOJA núm. 244 de 16 de diciembre), modifica la Orden de 4 de febrero de 2009, siguiendo los principios de simplificación y racionalización de los procedimientos de concesión de subvenciones impulsados por la Administración de la Junta de Andalucía, así como a la permanente adopción de medidas tendentes a mejorar la calidad de sus servicios. En este sentido, la modificación de las bases reguladoras del Programa de Subvenciones para el desarrollo energético sostenible de Andalucía, “Andalucía A+”, ha permitido:

- Ampliar su ámbito de aplicación.
- Simplificar los requisitos de acceso de las subvenciones a las empresas, en especial a las PYMES, aprovechando todas las posibilidades de la normativa comunitaria.
- Introducir los Programas Específicos, que da a la Orden la flexibilidad necesaria para adaptarse ágilmente a los cambios en el sector energético, así como para configurarse como norma única de subvenciones energéticas.
- Simplificar procedimientos de concesión y justificación.

La realización de auditorías energéticas en el sector industrial se enmarcan en la citada Orden dentro de la categoría de subvenciones para la realización de estudios de viabilidad, auditorías, consultorías y acciones de difusión, que tengan por objeto el ahorro energético, la utilización de fuentes de energía renovables, y la implantación de sistemas de gestión energética, siendo la inversión mínima de 1.500 euros.

Entre 2006 y 2009 se han concedido 84 incentivos para la realización de estudios y auditorías energéticas en industrias.

En el marco de la citada Orden también se contemplan subvenciones a proyectos de ahorro y eficiencia en equipos, instalaciones o procesos mediante la reducción del consumo energético, cuya inversión mínima sea de 3.000 euros.

En el caso de instalaciones industriales, se considerarán subvencionables las actuaciones que justifiquen, respecto al consumo inicial de energía del equipo, instalación o procesos sobre el que se pretenda hacer la inversión de mejora, una cuantía de ahorro superior al:

- 5% para proyectos con una previsión de ahorro de energía primaria inferior a 200 tep PCI/año.
- 10% para proyectos con una previsión de ahorro de energía primaria entre 200 y 5.000 tep PCI/año, así como para aquellos de empresas que desarrollen actividades de refino de petróleo o de generación de energía eléctrica.
- 5% para proyectos con una previsión de ahorro de energía primaria superior a 5.000 tep PCI/año.

Entre 2006 y 2009 se han concedido 487 incentivos para la implementación de mejoras energéticas en industrias. La suma total de incentivos concedidos ha sido de 39 millones de euros, lo que ha supuesto una inversión final global de 308 millones de euros. El ahorro de energía primaria esperado será de 369.000 tep/año y la reducción de emisiones asociada habrá de representar, aproximadamente, 1.182.000 t de CO<sub>2</sub> al año.



[www.agenciaandaluzadelaenergia.es](http://www.agenciaandaluzadelaenergia.es)

C/Isaac Newton, 6.  
Isla de la Cartuja, 41092 Sevilla.  
Tel: 954 78 63 35 · Fax: 954 78 63 50



Agencia Andaluza de la Energía  
**CONSEJERÍA DE ECONOMÍA, INNOVACIÓN Y CIENCIA**