Junta de Andalucía

IDAE

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

Consejería de Industria, Energía y Minas
Agencia Andaluza de la Energía

Versión 1.1. 18 diciembre 2019

Mejora energética en instalaciones de frío industrial

Paquete de medidas para la eficiencia energética de la industria en Andalucía

Andalucía se mueve con Europa

ingeniería energética aplicada

FONDO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
Industria

El presente documento tiene como finalidad el fomento de la mejora energética de las instalaciones de frío industrial, como actuación objeto de los incentivos económicos incluidos dentro del paquete de medidas para la eficiencia energética de la industria en Andalucía.

Incluye a modo de ejemplo las actuaciones de mejora energética para instalaciones de frio industrial que pueden ser objeto de incentivo a través de los siguientes instrumentos de ayuda, siempre bajo las condiciones incluidos en los mismos:

- **Línea de incentivos PYME SOSTENIBLE del Programa para el desarrollo energético sostenible de Andalucía "Andalucía es Más". Tipología de actuaciones incentivables A.2.1. Reformas de instalaciones o procesos para la mayor eficiencia energética.**

Andalucía es más pyme sostenible

Andalucía se mueve con Europa

UNIÓN EUROPEA

Agencia Andaluza de la Energía
CONSEJERÍA DE HACIENDA, INDUSTRIA Y ENERGÍA

- **Convocatoria para Andalucía de los incentivos acogidos al Real Decreto 263/2019, de 12 de abril de 2019: medidas de eficiencia energética y aprovechamiento de calores residuales mediante la mejora de la tecnología en equipos y procesos industriales (medida 1).**

FONDO NACIONAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA
Industria

IDAE

UNIÓN EUROPEA
Fondo Europeo de Desarrollo Regional
Una manera de hacer Europa

Existe un especial potencial de mejora energética en las instalaciones de frío de la industria andaluza

Índice

1. Encuadramiento de la mejora energética en las instalaciones de frío industrial.

2. Cuestiones para tener en cuenta en la selección de la actuación a desarrollar.

   2.1. Fundamentos de la tecnología

   2.2. Novedades normativas. Impuesto sobre Gases de Efecto Invernadero.

   2.3. Parámetros que intervienen en el rendimiento energético de los sistemas frigoríficos

   2.4. ¿Qué se puede hacer para reducir la Temperatura de condensación (Tc)?

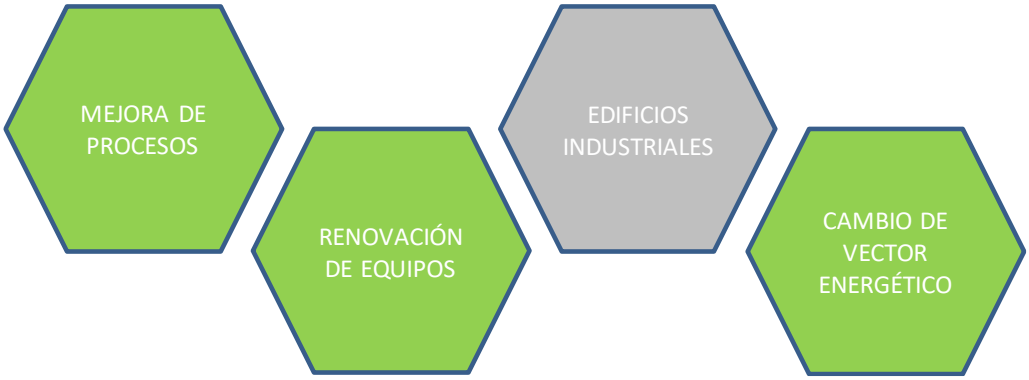
   2.5. ¿Qué se puede hacer para aumentar la Temperatura de evaporación (Te)?

3. Elementos que contribuyen a la eficiencia energética en las instalaciones de frío industrial.

1. Encuadramiento de la mejora energética en las instalaciones de frío industrial

Se trata de una **medida de ahorro horizontal** que persigue la mejora de la eficiencia energética de la instalación frigorífica de una industria, mediante: **la mejora de procesos** (renovación integral de una instalación frigorífica existente); la **renovación de equipos** (de uno o varios de sus elementos que afectan al consumo), o la sustitución de fuentes energéticas por otras que utilicen tecnologías de alta eficiencia energéticas (**cambio de vector energético**), todo ello con objeto de conseguir una mayor eficiencia energética.

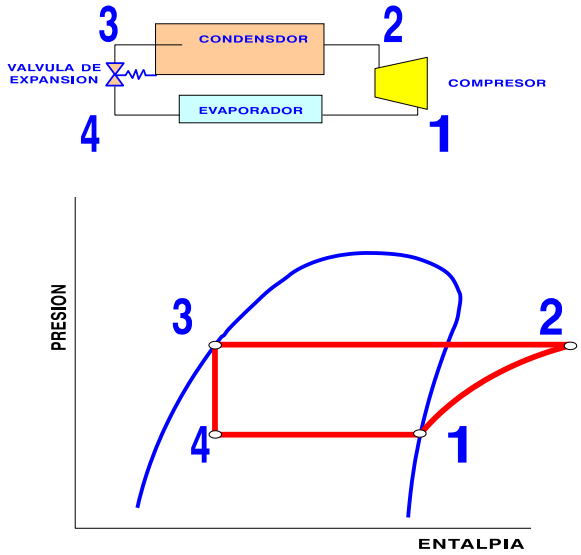
Las referidas actuaciones conllevarán un **ahorro de energía final** (si bien la energía útil generada en la instalación es para uso térmico- frío industrial, en general se reducirá el consumo de energía final de electricidad), así como consecuentemente, se obtendrá un **ahorro global de emisión de contaminantes** (t CO_2/año) asociado al ahorro de energía final eléctrica.



2. Cuestiones para tener en cuenta en la selección de la actuación a desarrollar:

2.1. Fundamentos de la tecnología

Los sistemas de producción de frío están basados en ciclos termodinámicos o procesos físicos, en los que de modo continuo tiene lugar un transporte de energía térmica entre una región a baja temperatura (foco calorífico a baja temperatura o foco frío) y una región a alta temperatura (foco calorífico a alta temperatura o foco caliente). El foco caliente suele ser el aire ambiente o una masa de agua de capacidad prácticamente ilimitada; el foco frio es el proceso para enfriar. Además de estos dos focos interviene un fluido, denominado refrigerante, que sufre transformaciones termodinámicas controladas a lo largo de un determinado ciclo de funcionamiento.



Diagramas del ciclo de comprensión de vapor

En base a lo anterior, a la hora de seleccionar una actuación de mejora energética de una instalación de frío industrial, ésta deberá repercutir sobre uno o varios de los elementos del ciclo de compresión, así como, en caso necesario, sobre el fluido refrigerante.

2.2. Novedades normativas. Impuesto sobre Gases de Efecto Invernadero.

La normativa de aplicación es el **Real Decreto 552/2019, de 27 de septiembre, por el que se aprueban el Reglamento de seguridad para instalaciones frigoríficas y sus instrucciones técnicas complementarias**, que ha derogado el Real Decreto 138/2011, de 4 de febrero

En este Real Decreto se clasifican los refrigerantes en base al parámetro "Potencial de Calentamiento Atmosférico- PCA" (en inglés "Global Warming Potential- GWP"), que mide el potencial de calentamiento atmosférico producido por un kilo de toda sustancia emitida a la atmósfera, en relación con el efecto producido por un kilo de dióxido de carbono, CO_2 que se toma como referencia, sobre un tiempo de integración dado. Si el tiempo de integración es de 100 años se indica con PCA 100.

Cada tipo de refrigerante, asociado a su PCA, tiene un impuesto definido en el Real Decreto 1042/2013, de 27 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre los Gases Fluorados de Efecto Invernadero; este impuesto se paga al cargar la instalación con el refrigerante elegido.

2.3. Parámetros que intervienen en el rendimiento energético de los sistemas frigoríficos

El rendimiento energético de los sistemas frigoríficos es función de las temperaturas de los focos caliente y frío.

En concreto:

$$COPteo = \frac{Te}{Tc - Te}$$

Donde:

Tc : Temperatura de condensación, en **ºK**

Te : Temperatura de evaporación, en **ºK**

Una instalación frigorífica es tanto más eficiente cuanto mayor es su COP, es decir, cuanto más elevada es la Te. y más baja es la Tc, dado que el compresor eléctrico, que opera entre la presión mínima de aspiración (Te) y la presión máxima de los condensadores (Tc), deberá salvar un menor salto de entalpía. El rendimiento de los ciclos reales suele ser **del orden del 60% del teórico termodinámico**.

Veamos dos casos:

Caso 1.- Tc = 45ºC y Te = -25 ºC

$$COPteo = \frac{(273 - 25)}{[\,(273 + 45) - (273 - 25)]} = 3,54 \rightarrow COPreal \approx 2,12$$

Caso 2.- Tc= 35ºC y Te = -5 ºC

$$COPteo = \frac{(273 - 5)}{[\,(273 + 35) - (273 - 5)]} = 6,70 \rightarrow COPreal \approx 4,02$$

En base a lo anterior, la mejora o sustitución de la instalación frigorífica debe ser tal que:

- Permita reducir la Temperatura de condensación (Tc) (el ahorro que se conseguiría sería del orden del 2 – 3% por cada grado de reducción de Tc).

- Permita aumentar la Temperatura de evaporación (Te) (el ahorro que se conseguiría sería del orden del 2 – 3% por cada grado de incremento Te). El incremento del COP es más sensible al incremento de la Te que a la reducción del Tc.

2.4. ¿Qué se puede hacer para reducir la Temperatura de condensación (Tc)?

La Tc depende del tipo de condensador utilizado y del sistema de disipación de calor. La Tc de los sistemas con condensador tubular glicol/agua + torre de refrigeración es superior a la de los sistemas de condensadores evaporativos, o de los sistemas que utilizan agua de refrigeración en circuito abierto.

En instalaciones frigoríficas de gran potencia se tiende al uso de condensadores evaporativos, en detrimento de la solución a base de condensador tubular+ torre de refrigeración. Ello permite reducir la Tc hasta en 3 °C, que implica reducir el consumo eléctrico del 6% al 8%, (la disminución de 1 °C en la Tc conlleva una reducción media del consumo eléctrico en compresores del 2,5%).

A continuación, se indican algunas actuaciones dirigidas a reducir la temperatura de condensación:

- Sustituir las torres de refrigeración convencionales por condensadores evaporativos (reduce la temperatura de entrada del fluido refrigerante).
- Permitir que la presión de condensación fluctúe con las condiciones del ambiente (Sistema de condensación flotante).
- Condensar por agua en lugar de por aire.
- Llevar a cabo un buen mantenimiento de la instalación.

Planta enfriadora con compresor centrífugo condensada por agua

Planta enfriadora condensada por aire

2.5. ¿Qué se puede hacer para aumentar la Temperatura de evaporación (Te)?

- Permitir que la presión de evaporación fluctúe con las condiciones del ambiente (Sistema de evaporación flotante).
- Uso de válvulas electrónicas, en los puntos de consumo de frío, en lugar de válvulas termostáticas.
- En el caso de tener producciones de frío a distintas temperaturas, se deberán emplear circuitos independientes para cada una de ellas.
- Implementar control de capacidad en la central frigorífica, incluyendo un variador de frecuencia, de manera que se adapte en todo momento la producción a la demanda de frío, evitando así que disminuya la presión de descarga o de evaporación.
- Sobredimensionar los evaporadores, aumentando su superficie de intercambio.
- Usar refrigerantes más eficientes.
- Llevar a cabo un buen mantenimiento de la instalación.

3. Elementos que contribuyen a la eficiencia energética en las instalaciones de frío industrial.

Las actuaciones más comúnmente acometidas por las industrias para la mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío industrial son las siguiente:

- Uso de compresores más eficientes (de tornillo, centrífugos) de tipo modulante o inverter, siendo los motores de los compresores y de los ventiladores de clase IE4.
- Diseño de minicentrales.
- Uso de sistemas de producción de frío en cascada: caso concreto de central subcrítica de CO_2 en cascada.
- Uso de refrigerantes naturales (CO_2, amoniaco, hidrocarburos) o de bajo PCA (en el caso de refrigerantes tipo HFC, inferior a 150, o inferior a 1.500 en caso de circuitos de refrigerante primarios de un sistema en cascada de centrales de refrigeración de uso comercial).
- Incorporación de sistemas de condensación y evaporación flotante.

La condensación flotante consiste en variar adecuadamente la Tc, en función de la temperatura ambiente, usando un sistema experto o TIC basado en válvulas de expansión electrónicas junto con un sistema de control de la Tc. Lo mismo se puede hacer para optimizar la Te (sistema de evaporación flotante). El término de condensación flotante hace referencia a la posibilidad de disminuir la consigna de la Tªcond a la que trabaja/n el/los compresor/es si la Tªamb del aire lo permite. Esto se suele llevar a cabo mediante un regulador electrónico (autómata programable) y un sistema de telegestión.

El diseño de la Tªcond en los compresores con sistema de condensación por aire se realiza con temperaturas de +45ºC. La disminución de 10 ºC en dicha temperatura da un aumento del rendimiento del 30% y la de 20 ºC un 70%.

En el mercado existen paquetes electrónicos, que integran los sistemas de condensación y evaporación flotante, junto con válvulas de expansión electrónica, control electrónico del desescarche, en un sistema de control centralizado. Tienen fácil integración y bajo precio, recuperando la inversión en periodos relativamente cortos.

- Incorporar una TIC ("central digital scroll") que monitoriza y telegestiona la instalación en tiempo real, optimizando energéticamente su funcionamiento, permitiendo evaluar el ahorro energético conseguido.

- Uso de válvulas electrónicas, en los puntos de consumo de frío, en lugar de válvulas termostáticas.

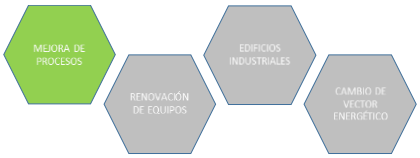
- Instalaciones frigoríficas con baja carga de refrigerante primario (para aumentar la seguridad de la instalación y reducir el impuesto que grava al refrigerante) y el uso de refrigerantes o fluidos secundarios (salmuera, glicol, agua helada).

- Recuperar al máximo el calor de condensación para calor de proceso.

- Uso de la tecnología bomba de calor para producción de ACS y agua caliente para proceso en sustitución de calderas de agua caliente.

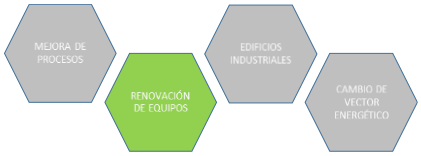
A continuación, se incluyen enlaces a las fichas explicativas de una serie de actuaciones de mejora energética de instalaciones de frío industrial, que incorporan tecnologías eficientes; en las mismas se ilustran sus aspectos tecnológicos, energéticos y económicos, los cuales deberán entenderse a título orientativo, dependiendo en última instancia de las características reales de la actuación objeto de incentivo:

Mejora de procesos



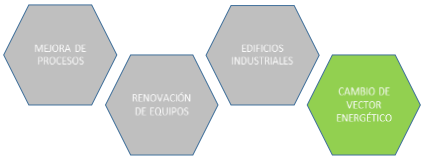
- IND 1-01: Sustitución de una instalación frigorífica por otra más eficiente con balsa de acumulación de frío. (Acceda a ficha 1_01)
- IND 1-02: Refrigeración evaporativa para procesos de climatización industrial. (Acceda a ficha 1_02)
- IND 1-03: Sustitución de central frigorífica por otra con refrigerante natural y central subcrítica de Co_2 en cascada. (Acceda a ficha 1_03)
- IND 1-04: Sustitución de central frigorífica por otra más eficiente de minicentrales, diseñada bajo criterios de ecodiseño. (Acceda a ficha 1_04)
- IND 1-05: Sustitución de planta enfriadora existente por una con refrigerante natural R717 (amoniaco) en circuito primario con distribución de glicol en circuito secundario. (Acceda a ficha 1_05)

Renovación de equipos



- IND 2-01: Sustitución de planta enfriadora existente por una con refrigerante natural R717 (amoniaco). (Acceda a ficha 2_01)
- IND 2-02: Sustitución de central frigorífica existente por central frigorífica con recuperación parcial de calor. (Acceda a ficha 2_02)
- IND 2-03: Sustitución de planta enfriadora existente por una con refrigerante natural R290 (propano). (Acceda a ficha 2_03)

Cambio de vector energético



- IND 4-05: Sustitución de caldera por bomba de calor para producción de ACS y agua caliente para proceso. (Acceda a ficha 4_05)

En el marco de la gobernanza de la Estrategia Energética Andalucía 2020 y con la finalidad de optimizar el uso de los fondos FEDER que gestiona la Junta de Andalucía para el impulso a la eficiencia energética de la industria en Andalucía, se ha recabado la colaboración de varias entidades especializadas para realizar el análisis técnico que ha llevado a la selección de las medidas incluidas en el presente documento realizado por la Agencia Andaluza de la Energía

AGRADECEMOS LA COLABORACIÓN PRESTADA POR

Asociaciones sectoriales

AFAR
ASOCIACIÓN DE FABRICANTES ANDALUCES DE REFRIGERACIÓN