



**Manual técnico**

# **Ahorro y eficiencia energética en climatización de naves industriales**

# **MANUAL TÉCNICO SOBRE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CLIMATIZACIÓN DE NAVES INDUSTRIALES**

Edita: Junta de Castilla y León  
Consejería de Economía y Empleo  
Ente Regional de Energía de Castilla y León

Colabora: GEYCA ENERGÍA

Diseño e  
Impresión: I. Sorles. LEÓN

Dep. Legal: LE-1661-2010

El sector industrial, es uno de los sectores en los que mayor consumo energético se produce, superando el 31% del total de energía final. Esto se debe a que los procesos productivos y de fabricación además de necesitar materias primas y mano de obra, necesitan energía para obtener el producto final.

Básicamente hay dos tipos de energía convencional que se utiliza en el sector industrial, por un lado energía eléctrica y por otro energía térmica, ésta última en forma de agua caliente, aire caliente o vapor de agua.

El uso de la energía térmica para el calentamiento de las naves que albergan los procesos productivos, tradicionalmente no han tenido mucho interés, ya que la normativa que nos permite diseñar y proyectar sistemas de calefacción en naves de usos industrial, es la que se refiere a las condiciones en las que se desarrolla el trabajo.

En todo caso, y dado, que la energía cada vez más es un coste importante en la fabricación del producto final, también es necesario fijarse en el coste energético para el acondicionamiento de las naves.

Conscientes de los importantes ahorros energéticos y por tanto económicos que se pueden derivar del correcto diseño y ejecución de las instalaciones de acondicionamiento térmico en las naves que albergan los procesos productivos, el Ente Regional de la Energía de Castilla y León, en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4+), ha elaborado este manual sobre ahorro y eficiencia energética en climatización de naves industriales, que se suma a otros manuales publicados con anterioridad y que pretende servir como herramienta de consulta para todas aquellas personas que por su dedicación profesional o empresarial participan en el diseño, ejecución y utilización de las instalaciones de climatización de las naves en el sector industrial.

Es mi deseo, que este manual contribuya, a la mejora de la eficiencia energética de nuestras empresas mediante aspectos técnicos de diseño y ejecución de las instalaciones de acondicionamiento térmico de las naves industriales, lo que sin duda redundará en una mejora de la competitividad en la producción, dado que con la aplicación de los conceptos indicados en este manual, también se podrán ahorrar costes de fabricación e implementar las tecnologías más novedosas disponibles.

**TOMÁS VILLANUEVA RODRÍGUEZ**  
Vicepresidente segundo  
y Consejero de Economía y Empleo



## INTRODUCCIÓN

La mejora de la eficiencia energética es una preocupación cada vez mayor en el campo de la edificación. Uno de los puntos donde en la actualidad se está realizando un esfuerzo considerable es en el aumento del ahorro energético en climatización y calefacción de edificios. Esta preocupación se vio reflejada hace ya más de 15 años en la Directiva Europea 93/76/CEE, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética. Esta norma se completa con la publicación de la Directiva Europea 2002/91/CE, sobre la eficiencia energética de los edificios, que entre otros puntos establece requisitos en relación a:

- El marco general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios.
- Requisitos mínimos de eficiencia energética de edificios nuevos y en edificios existentes objeto de reformas.
- La certificación energética de edificios.
- La inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado de edificios.

En España, las políticas de eficiencia energética están recogidas en la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 - 2012, cuyo Plan de Acción para 2008 - 2012 recoge, entre otras, las siguientes medidas:

- Promover las actuaciones sobre la envolvente térmica de los edificios con objeto de reducir la demanda energética en calefacción y refrigeración.
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes. La sustitución de equipos de producción de calor y frío, de movimientos de fluidos e incorporación de sistemas de enfriamiento gratuito y de recuperación térmica.
- Promover la construcción de nuevos edificios y la rehabilitación de existentes con alta calificación energética.

Estas medidas del Plan de Acción han sido traspuestas a cada una de las Comunidades Autónomas, entre ellas la de Castilla y León.

El presente manual está dedicado al estudio de la mejora de la eficiencia energética en calefacción y climatización de un tipo de edificios que presenta unas características muy particulares, como son las naves industriales. En primer lugar, los consumos energéticos en climatización suelen representar un porcentaje bajo con respecto a los consumos derivados del proceso productivo; sin embargo, no por ello representan valores desdeñables. Hay que tener en cuenta además que este tipo de edificios se diseñan pensando en el proceso industrial, lo que en ocasiones conduce a no prestar la suficiente atención a los consumos en climatización o al propio confort de los trabajadores de la planta. En este manual se abordarán por lo tanto medidas que se pueden tener en cuenta para minimizar los consumos en climatización, sin que interfieran negativamente en el proceso productivo y mantengan el confort del personal que trabaja en la planta<sup>1</sup>. Por un lado, se describirán las pautas a la hora de diseñar la envolvente del edificio. En el siguiente capítulo se hace una descripción de los sistemas de calefacción y refrigeración más habituales en naves industriales, junto con sus elementos auxiliares. Finalmente, se abordarán aspectos de mantenimiento y gestión energética, como elementos indispensables para mantener una alta eficiencia energética. Este manual está dirigido a:

- *Proyectistas*. Se abordarán las pautas que se pueden seguir en el proceso de diseño y proyecto de la nave, con medidas que afectan tanto a la envolvente térmica como a las instalaciones y equipos de calor y frío.
- *Ingenieros de producción o jefes de mantenimiento*. Se dedicará un capítulo a definir procedimientos y posibilidades de actuación en naves ya construidas para mejorar su eficiencia energética. Asimismo se establecerán procedimientos para mejorar la gestión energética y el mantenimiento de las instalaciones de climatización en plantas industriales ya operativas.

***A lo largo de este manual se presentan diversos ejemplos y comparaciones de actuaciones ante una situación determinada. El estudio en estos casos se realiza únicamente desde un punto de vista de eficiencia energética, y sus efectos deben añadirse a la valoración global que tenga en cuenta el resto de variables de carácter técnico, económico, de eficiencia de proceso, etc.***

Es importante tener siempre presente que la eficiencia energética no es el resultado de aplicar una sola medida aislada, sino que es consecuencia de un tratamiento integral durante todo el proceso de diseño, construcción y manteni-

---

<sup>1</sup>No se abordan en este manual actuaciones para la zona de oficinas que pudiera haber en la nave, ya que este tipo de soluciones habitualmente son comunes a las que se plantean en los edificios del sector terciario.

miento de las instalaciones. Más aún, las medidas de ahorro energético deben ser consideradas como una inversión en los costes de construcción, ya que hay que valorar en todo momento los ahorros energéticos (y por tanto económicos) que se van a producir durante la vida del edificio y de sus instalaciones.

No hay que olvidar que el ahorro energético no es un fin en sí mismo: es una medida que debe ser útil tanto a sus ocupantes como a sus actividades. De esta manera, el primer paso para lograr mejorar la eficiencia energética en una nave, ya sea en fase de diseño o en operación, es analizar y comprender el funcionamiento de los procesos industriales y del personal que trabaja en la misma. Sólo de esta manera se lograrán aplicar medidas que, además de mejorar los ahorros energéticos, contribuirán a aumentar el confort de los ocupantes y a mejorar los procesos.





**DISEÑO Y PROYECTO**

# ÍNDICE

## DISEÑO Y PROYECTO

1.-	REGLAMENTACIÓN Y LEGISLACIÓN.....	13
1.1.-	Introducción .....	13
1.2.-	Normativa relativa a Seguridad contra Incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre) .....	14
1.3.-	Normativa relativa a Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997 de 14 de abril) .....	16
1.4.-	Normativa relativa al ruido. Ley del Ruido de Castilla y León (Ley 5/2009).....	17
1.5.-	RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios). RD 1027/2007 .....	18
2.-	DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS. ENVOLVENTE .....	22
2.1.-	Características típicas de las envolventes en naves industriales.....	22
2.1.1.	Cubiertas y cerramientos verticales mediante sándwich in situ .....	23
2.1.2.	Cubiertas y cerramientos verticales mediante sándwich prefabricado.....	24
2.1.3.	Cubiertas tipo deck.....	25
2.1.4.	Paneles de hormigón para cerramientos verticales .....	26
2.2.-	Recomendaciones para un buen aislamiento .....	27
2.3.-	Propiedades higrotérmicas de materiales y productos.....	27
2.4.-	Cubiertas ecológicas .....	28
2.4.1.	Cubiertas vegetales.....	29
2.4.2.	Cubiertas aljibe .....	30
2.5.-	Ejemplo: comparación de tipos de cerramientos.....	32
2.6.-	Método de cálculo de cargas térmicas de calefacción.....	35
2.7.-	Método de cálculo de cargas térmicas de refrigeración .....	37
2.8.-	Software .....	39
3.-	SISTEMAS DE CALOR Y FRÍO. SISTEMAS AUXILIARES .....	40
3.1.-	CALDERAS .....	40
3.1.1.	Calderas de alto rendimiento: baja temperatura y condensación .....	40
3.1.2.	Calderas de biomasa .....	42
3.1.3.	Regulación de calderas. Sensores de oxígeno .....	43
3.1.4.	Criterios de selección .....	44

3.1.5.	Dimensionamiento de las calderas .....	48
3.1.6.	Ejemplos .....	49
3.2.-	AEROTERMOS .....	51
3.2.1.	Criterio de selección .....	52
3.2.2.	Ejemplos .....	53
3.3.-	VENTILADORES DESESTRATIFICADORES .....	54
3.3.1.	Aplicación .....	55
3.3.2.	Características de un desestratificador .....	55
3.3.3.	Criterios de selección .....	56
3.3.4.	Ejemplos .....	56
3.4.-	CALOR RADIANTE.....	57
3.4.1.	Cálculo del sistema .....	61
3.4.2.	Ejemplo .....	61
3.5.-	SISTEMAS DE VENTILACIÓN .....	62
3.5.1.	Ventilación natural .....	62
3.5.2.	Ventilación mecánica.....	64
3.6.-	SISTEMAS DE AIRE ACONDICIONADO .....	65
3.6.1.	Cálculo.....	67
3.6.2.	Ejemplo .....	67
3.7.-	BOMBAS DE CALOR GEOTÉRMICAS .....	68
3.7.1.	Aplicaciones .....	70
3.8.-	ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO. CLIMATIZACIÓN ADIABÁTICA .....	71
3.8.1.	Dimensionamiento de una instalación de climatización adiabática.....	75
3.8.2.	Ejemplo .....	76
3.9.-	CALENTAMIENTO SOLAR DEL AIRE.....	77
3.9.1.	Características de las instalaciones solares de calefacción por aire en comparación de las de agua.....	80
3.9.2.	Ejemplo .....	81
3.10.-	ENERGÍA SOLAR TÉRMICA CON AGUA .....	82
3.10.1.	Tipos de captadores solares.....	84
3.10.2.	Aplicaciones .....	85

## ÍNDICE. DISEÑO Y PROYECTO

3.11.- SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN POR ABSORCIÓN. FRÍO SOLAR.....	86
3.11.1. Funcionamiento de un sistema de absorción .....	86
3.11.2. Disipación del calor.....	88
3.11.3. Selección del sistema de refrigeración por absorción.....	89
3.11.4. Ejemplo .....	90
3.12.- SISTEMAS DE RECUPERACIÓN DE CALOR .....	91
3.12.1. Recuperación de calor de proceso .....	91
3.12.2. Recuperación de calor en aire de climatización y ventilación.....	100
3.13.- COGENERACIÓN .....	101
3.13.1. Clasificación de sistemas de cogeneración .....	102
3.13.2. Componentes principales de un sistema de cogeneración .....	103
3.14.- SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN Y CONDUCCIONES .....	103
3.14.1. Cálculo del espesor del aislante.....	105
3.14.2. Ejemplo .....	107
3.15.- CONTROL DE HUECOS .....	109
3.15.1. Cortinas de aire .....	112
3.15.2. Puertas rápidas automáticas .....	113
4.- PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN.....	115
4.1.- Determinación de las cargas de la nave. Optimización de la demanda .....	115
4.2.- Utilización de energías renovables.....	116
4.3.- Selección de la caldera .....	116
4.4.- Sistemas de calefacción .....	117
4.5.- Sistemas de ventilación y refrigeración.....	117
4.6.- Sistemas de distribución.....	118

# 1. REGLAMENTACIÓN Y LEGISLACIÓN

## 1.1 Introducción

Se revisará en este capítulo la normativa técnica básica relativa a la edificación de naves industriales y sus correspondientes instalaciones de climatización, que de alguna manera pueda afectar a la **eficiencia energética** de las mismas. No es objeto de este apartado repasar la normativa técnica y administrativa que regule la construcción de dichas naves y sus instalaciones de otros ámbitos distintos al de la eficiencia energética.

La relación de normativa principal vigente que se recorrerá es la siguiente

- a. Seguridad contra incendios en los establecimientos industriales (RD 2267/2004)
- b. Disposiciones mínimas relativas a Seguridad y Salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997)
- c. Ley del Ruido de Castilla y León (Ley 5/2009)
- d. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE). RD 1027/2007

Cabe destacar que una de las normativas básicas que trata la eficiencia energética en edificación como es el documento básico HE, “*Exigencias Básicas de Ahorro de Energía*”, del Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006), no es de aplicación para edificios de uso industrial.

Por otro lado, y relativo también al Código Técnico de la Edificación, el documento básico HS3 “*Salubridad. Calidad de aire interior*”, no es directamente de aplicación para instalaciones industriales, si bien la conformidad con las exigencias básicas que se exponen en dicho documento debe verificarse mediante un tratamiento específico adoptando criterios análogos a los que caracterizan las condiciones establecidas en éste.

## **1.2 Normativa relativa a Seguridad contra Incendios en los establecimientos industriales (Real Decreto 2267/2004 de 3 de diciembre)**

La normativa de seguridad contra Incendios en los establecimientos industriales fija condicionantes a los cerramientos y a los materiales que los componen, y por tanto, esto afectará a la eficiencia energética desde el punto de vista de la demanda térmica del edificio.

Establece también obligaciones en lo que se refiere a ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión. Ambos tipos de requisitos se desarrollan en el Anexo II del Real Decreto.

Los capítulos afectados son los que se relacionan a continuación.

### ***Apartado 3. Materiales***

Dicha normativa establece en primer lugar las exigencias de comportamiento al fuego de los productos de construcción. Estas se definen determinando la clase que deben alcanzar, según la norma UNE-EN 13501-1 para aquellos materiales para los que exista norma armonizada y ya esté en vigor el marcado “CE”.

Las condiciones de reacción al fuego aplicable a los elementos constructivos se justificarán:

- a. Mediante la clase que figura en primer lugar, conforme a la nueva clasificación europea.
- b. Mediante la clase que figura en segundo lugar, entre paréntesis, conforme a la clasificación que establece la norma UNE-23727.

En este apartado se fijan las clases mínimas para:

#### **1. Productos de revestimiento o acabado superficial**

- Suelos: CFL-s1 (M2) o más favorable.
- Paredes y techos: C-s3 d0 (M2) o más favorable.
- Lucernarios que no sean continuos o instalaciones para eliminación de humo que se instalen en las cubiertas: clase D-s2d0 (M3) o más favorable.
- Lucernarios continuos: B-s1d0 (M1) o más favorable.
- Revestimiento exterior de fachadas: C-s3d0 (M2) o más favorables.

## 2. Productos incluidos en paredes y cerramientos

- Cuando un producto que constituya una capa contenida en un suelo, pared o techo sea de una clase más desfavorable que la exigida al revestimiento correspondiente, según el apartado 3.1, la capa y su revestimiento, en su conjunto, serán, como mínimo, EI 30 (RF-30). Este requisito no será exigible cuando se trate de productos utilizados en sectores industriales clasificados según el anexo I como de riesgo intrínseco bajo, ubicados en edificios de tipo B o de tipo C para los que será suficiente la clasificación Ds3 d0 (M3) o más favorable, para los elementos constitutivos de los productos utilizados para paredes o cerramientos

3. Otros productos: los productos situados en el interior de falsos techos o suelos elevados, tanto los utilizados para aislamiento térmico y para acondicionamiento acústico como los que constituyan o revistan conductos de aire acondicionado o de ventilación, etc., deben ser de clase C-s3 d0 (M1) o más favorable.

4. Los productos de construcción pétreos, cerámicos y metálicos, así como los vidrios, morteros, hormigones o yesos, se considerarán de clase A 1 (M0).

### ***Apartado 5. Resistencia al fuego de elementos constructivos de cerramiento***

Las exigencias de comportamiento ante el fuego de un elemento constructivo de cerramiento (o delimitador) se definen por los tiempos durante los que dicho elemento debe mantener las siguientes condiciones, durante el ensayo normalizado conforme a la norma que corresponda de las incluidas en la Decisión 2000/367/CE de la Comisión, de 3 de mayo de 2000, modificada por la Decisión 2003/629/CE de la Comisión:

- a. Capacidad portante R.
- b. Integridad al paso de llamas y gases calientes E.
- c. Aislamiento térmico I.

Se fija además la resistencia al fuego mínima en diversos casos:

- Elementos constructivos delimitadores de un sector de incendio respecto de otros.
- Medianería o muro colindante con otro establecimiento.
- Medianería, un forjado o una pared que, compartimente sectores de incendio, acometa a una fachada.

- Cuando una medianería o un elemento constructivo de compartimentación en sectores de incendio acometa a la cubierta.
- Cerramiento que delimita un establecimiento de tipo D (excepto los de riesgo bajo 1), respecto a límites de parcelas con posibilidad de edificar en ellas.

### ***Apartado 7. Ventilación y eliminación de humos y gases de la combustión en los edificios industriales***

La eliminación de los humos y gases de la combustión, y, con ellos, del calor generado, de los espacios ocupados por sectores de incendio de establecimientos industriales debe realizarse de acuerdo con la tipología del edificio en relación con las características que determinan el movimiento del humo.

En este apartado se fijan las condiciones que obligan a la instalación de un sistema de evacuación de humos, en base al tipo de actividad desarrollado, al riesgo intrínseco, y a la superficie construida.

Fija finalmente también las características y tipo de ventilación

#### **ANEXO IV**

Se relacionan finalmente las normas UNE de obligado cumplimiento en la aplicación del Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

**UNE-EN 13501-1:2002** Clasificación en función del comportamiento frente al fuego de los productos de construcción y elementos para la edificación. Parte 1: clasificación a partir de datos obtenidos en ensayos de reacción al fuego.

**UNE-EN 13501-2:2004** Clasificación de los productos de construcción y de los elementos constructivos en función de su comportamiento ante el fuego. Parte 2: clasificación a partir de datos obtenidos en los ensayos de resistencia al fuego excluidas las instalaciones de ventilación.

**UNE 23727: 1990.** Ensayos de reacción al fuego de los materiales de construcción. Clasificación de los materiales utilizados en la construcción.

### **1.3 Normativa relativa a Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997 de 14 de abril)**

En el Anexo III del Real Decreto se fijan las condiciones ambientales de los lugares de trabajo. De esta manera, la temperatura ambiente se fija en función del tipo de trabajo:

- a) Trabajo Sedentario. Temperatura entre 17 y 27 °C
- b) Trabajo ligero. Temperatura entre 14 y 25 °C

Se establece una humedad relativa entre el 30 y el 70% salvo que existan riesgos por electricidad estática, con un límite máximo de 50%.

Se pone limitación a la velocidad de las corrientes de aire:

- a) Trabajos en ambientes no calurosos: 0,25 m/s
- b) Trabajos sedentarios en ambientes calurosos: 0,5 m/s
- c) Trabajos no sedentarios en ambientes calurosos: 0,75 m/s

Finalmente, se fija una renovación de aire mínima de 30 metros cúbicos por persona y hora en caso de trabajos sedentarios y ambientes no calurosos, y de 50 metros cúbicos por persona y hora en el resto de casos

## **1.4 Normativa relativa al ruido. Ley del Ruido de Castilla y León (Ley 5/2009)**

Al igual que en el caso anterior, la normativa relativa al ruido afecta a los cerramientos de los recintos donde se ubiquen equipos y maquinaria, y por tanto dicha reglamentación interactúa con la eficiencia energética vista desde la envolvente de las naves industriales.

El caso más frecuente que se producirá en el caso de naves industriales de nueva construcción es que se ubiquen en zonas industriales. De acuerdo a la ley del ruido, las naves industriales se ubicarán entonces en las definidas en el Artículo 8 como áreas acústicas ruidosas (tipo 4), con lo que esta clasificación conlleva.

Por otro lado, en ellas se desarrollarán actividades clasificadas, sometidas a autorización ambiental, licencia ambiental o a evaluación de impacto ambiental, por lo que de acuerdo a la ley, se exigirá la redacción de un proyecto acústico redactado por técnico titulado competente, visado por el colegio profesional correspondiente, y en el que se contemplen todos los aspectos exigidos por la ley. Además se exigirán dos informes:

- a) Un informe, emitido por el técnico director de la ejecución del proyecto, en el que se acredite la adecuación de la actividad y de las instalaciones al proyecto objeto de la autorización

- b) Un informe, realizado por una Entidad de Evaluación Acústica, en el que se acredite, como mínimo, el cumplimiento de una serie de parámetros acústicos de inmisión, emisión, aislamiento, etc.

En el Anexo I de la ley se establecen los valores límite de niveles sonoros producidos por emisores acústicos. De este modo, en zonas acústicas ruidosas, este límite definido en este anexo como  $L_{Aeq,5s}$  se establece en 65 dB(A) durante el día (8-22 h) y 55 dB(A) durante la noche (22 a 8 h)

Finalmente, en el Anexo III de la Ley se regulan los aislamientos acústicos de las actividades. En el caso que nos ocupa, el aislamiento acústico cuando los recintos interiores colindantes no son viviendas es de 55 dBA respecto a estos recintos. En todo caso, los aislamientos acústicos deben garantizar el cumplimiento de los valores del anexo I de la Ley, tanto en el interior como en el exterior de los recintos más próximos.

## **1.5 RITE (Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios). RD 1027/2007**

La renovación del RITE que se produjo en el año 2007, explicita en su artículo 12 la eficiencia energética como aspecto fundamental a tener en cuenta en las instalaciones térmicas en los edificios. Así mismo, en el artículo 31 estipula la realización de inspecciones periódicas sobre las exigencias en eficiencia energética. En el artículo 32 se alude a la calificación de las instalaciones tras la inspección pertinente en eficiencia energética.

En el artículo 26 se trata sobre el mantenimiento de las instalaciones técnicas, aspecto tratado también en el presente manual.

*Hay que tener en cuenta que el ámbito de aplicación del RITE está restringido a “las instalaciones fijas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación) y de producción de agua caliente sanitaria, destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas” (artículo 2.1), no siendo de aplicación para “las instalaciones térmicas de procesos industriales... en la parte que no esté destinada a atender la demanda de bienestar térmico e higiene de las personas” (artículo 2.4).*

Las Instrucciones técnicas que acometerán aspectos relativos a la eficiencia energética son los siguientes:

## IT.1 Diseño y dimensionado

### IT.1.1 EXIGENCIAS EN BIENESTAR E HIGIENE

**Condiciones operativas interiores.** Establece para una actividad determinada sedentaria con condiciones de vestimenta y satisfacción especificadas unas condiciones de temperatura y humedad relativa de:

Estación	Temperatura Operativa (°C)	Humedad Relativa (%)
Verano	23-25	45-60
Invierno	21-23	40-50

Para valores diferentes de los especificados en metabolismo, vestimenta y satisfacción, el procedimiento de cálculo se remite a la norma UNE-EN ISO 7730.

**Velocidad media del aire.** Los valores máximos se calcularán en base a las fórmulas que figuran en IT.1.1.4.1.3.

**Calidad del aire.** Al no ser de aplicación directa el documento básico HS Salubridad del CTE, los cálculos se realizarán de acuerdo a la norma UNE-EN 13779.

**Caudal mínimo de aire exterior de ventilación.** Para un tipo de aire exigible IDA 4 (calidad baja) como el que nos ocupa, tendremos lo siguiente, mediante los cinco métodos posibles de cálculo,:

- Método indirecto:  $5 \text{ dm}^3/\text{s}$  por persona
- Método directo por calidad de aire percibido (olfativo): 3 decipols
- Método directo por concentración de CO<sub>2</sub>: 1.200 ppm
- Método indirecto por unidad de superficie:  $0,28 \text{ dm}^3/\text{(s}\cdot\text{m}^2)$
- Método de dilución: de acuerdo a norma EN 13779

### IT.1.2 EXIGENCIA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

#### **Generación de calor y de frío.**

**Generalidades.** Se adaptará la potencia máxima considerando la demanda máxima simultánea, así como las pérdidas o ganancias a en la distribución. Se estudiará la variación horaria y diaria para seleccionar el tipo y número de generadores. Se podrá variar el caudal del fluido caloportador para adaptarse a la carga térmica.

**Rendimiento de los generadores de calor.** Las calderas de potencia mayor de 40 kW tendrán un rendimiento igual o mayor que el exigido en el RD 275/1995 (quedan excluidos de cumplir esto determinados generadores con combustibles de tipo residuos, subproductos, biomasa). En el caso de la biomasa, el rendimiento mínimo será del 75%.

**Prohibición** de determinadas calderas a partir de 2010.

**Fraccionamiento de potencia.** Si la potencia es mayor de 400 kW se instalarán dos o más generadores. Se excluyen las de combustibles de tipo residuos, subproductos, biomasa.

**Regulación de quemadores.** Para potencia de hasta 70 kW inclusive, el quemador podrá tener una única marcha. Para potencia de entre 70 y 400, deberá tener dos marchas. Para potencias mayores deberá tener al menos tres marchas. En todos los casos el quemador podrá ser de tipo modulante.

**Generación de frío.** Se establecen una serie de requisitos mínimos de eficiencia en generadores de frío. Habrán de diseñarse con escalonamiento de potencia. Se establecen condiciones para máquinas frigoríficas enfriadas por aire, así como aquellas enfriadas por agua o condensador evaporativo.

### Redes de calor y de frío

Se establecen una serie de exigencias para las redes de tuberías y conductos en lo que aislamiento se refiere, así como fórmulas de cálculo del espesor de los mismos. Además se establecen las características de los ventiladores y las exigencias de rendimiento mínimo de los motores eléctricos.

### Control

**Instalaciones de climatización.** Se exigirán sistemas de control en las instalaciones de climatización que permitan mantener en los locales las condiciones de diseño previstas, ajustando los consumos de energía a las variaciones de carga térmica. Dichos controles se desarrollan en el apartado IT 1.2.4.3.1.

*Condiciones termo-higrométricas y calidad de aire interior* de las instalaciones de climatización: Los sistemas se diseñarán para controlar estos aspectos. Se desarrolla en la IT 1.2.4.2 y 1.2.4.3.

### Recuperación de energía

**Enfriamiento gratuito.** Los subsistemas de tipo todo aire de potencia mayor de 70 kW en refrigeración dispondrán de un subsistema de enfriamiento gratuito por aire exterior. En los sistemas agua-aire, el enfriamiento se obtendrá mediante agua procedente de torres de refrigeración.

**Recuperación de calor del aire de extracción.** Cuando el caudal de extracción por medios mecánicos sea superior a  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , se recuperará la energía del aire expulsado. Sobre el lado del aire de extracción se instalará un aparato de enfriamiento adiabático.

**Estratificación.** En los locales de gran altura se debe estudiar y favorecer durante los periodos de demanda térmica positiva y combatir cuando la demanda térmica es negativa.

**Zonificación.** Se adoptará al objeto de obtener un elevado bienestar y ahorro de energía.

### **Limitación de la utilización de energía convencional**

Está limitada la utilización de energía directa por efecto Joule. Solo está permitida en determinados casos excepcionales que se enumeran en dicho apartado del RITE.

Está prohibida la utilización de combustibles sólidos de origen fósil.

## **IT.2 Montaje**

### **IT.2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA (PUESTA EN MARCHA)**

La empresa instaladora realizará y documentará una serie de pruebas de eficiencia energética de la instalación que se detallan en dicha IT.

## **IT.3 Mantenimiento y uso**

### **IT.3.3 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Se desarrollan aquí las operaciones y periodicidades del programa de mantenimiento preventivo mínimo que hay que aplicar en el Manual de uso y mantenimiento

### **IT.3.4 PROGRAMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA**

Se realizarán por parte de la empresa mantenedora un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor y de frío.

Así mismo, la empresa mantenedora asesorará al titular para lograr una mayor eficiencia energética de la instalación. Además para instalaciones de más de  $70 \text{ kW}$  se realizará un seguimiento de la evolución del consumo de energía y de agua de la instalación térmica.

## IT.4 Inspección

### IT.4.2 Inspecciones periódicas de eficiencia energética

Se inspeccionará periódicamente el rendimiento de los generadores de calor de potencia igual o mayor que 20 kW.

Se inspeccionará igualmente el rendimiento de los equipos de frío mayores de 12 kW.

Para instalaciones de más de 15 años de antigüedad se realizarán igualmente inspecciones de los sistemas completos desde el punto de vista de la eficiencia energética.

#### IT.4.2 PERIODICIDAD DE INSPECCIONES PERIÓDICAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Se desarrolla la periodicidad de estas inspecciones en diferentes casos.

### Apéndice 2. Normas de Referencia

Se desarrollan en este apéndice las normas de referencia en instalaciones térmicas.

## 2. DETERMINACIÓN DE LAS CARGAS TÉRMICAS. ENVOLVENTE

La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que limitan espacios habitables con el ambiente exterior (aire o terreno u otro edificio) y por todas las particiones interiores que limitan los espacios de trabajo.

Los principales factores que influyen en las necesidades energéticas y el consumo final de energía de un edificio son:

- Zona climática y orientación del edificio.
- Forma y volumen del edificio.
- Solución constructiva de fachadas y cubiertas.
- Tipo de instalaciones y equipos.
- Fuentes energéticas disponibles.

### 2.1 Características típicas de las envolventes en naves industriales

Los tipos de cerramientos más extendidos para la envolvente en naves industriales son la chapa grecada y los paneles de hormigón.

Para las cubiertas nos encontramos normalmente con soluciones del tipo:

- Panel *sándwich*.
- Paneles con poliuretano inyectado.
- Cubiertas tipo *deck*.
- Otro tipo de cubiertas, no muy habitual, pero con un gran potencial desde el punto de vista de la eficiencia energética, como las cubiertas ecológicas.
- Para los cerramientos verticales es habitual proyectar con:
  - Paneles de hormigón.
  - Bloques de hormigón.
  - Paneles de chapa grecada.

El aislamiento a utilizar en cada caso depende del sistema de cerramiento elegido, siendo el producto más utilizado la lana de vidrio, que cumple tres funciones principales:

- Reducción de las pérdidas energéticas.
- Aislamiento acústico de la nave.
- Protección contra el fuego.

El tipo y cualidades del aislamiento deben ser seleccionados en base a los siguientes factores:

- Actividad de las personas y maquinaria de proceso.
- Entorno de ubicación de la nave.

A continuación se detalla en qué consiste cada uno de los tipos de cerramientos más habituales en la construcción de naves industriales:

### **2.1.1. Cubiertas y cerramientos verticales mediante *sándwich in situ***

Este cerramiento está constituido por dos hojas de chapa perfilada o grecada entre las cuales se sitúa el aislamiento, constituido por una manta de lana de vidrio o espuma de poliuretano expandido.

Las **ventajas** de los sistemas *sándwich* de lana de vidrio en cubiertas y cerramientos verticales son las siguientes:

- Al tratarse de un sistema realizado *in situ*, permite ofrecer precios más competitivos.

- Ahorro de mano de obra: la instalación de estos paneles ligeros y de grandes dimensiones resulta sencilla y rápida.
  - Ahorro en estructura: la luz útil de los paneles permite espaciar los soportes.
  - Coste global más bajo que otros sistemas.
- Sistema muy fácil de mantener a largo plazo, ya que permite cambiar únicamente la chapa exterior, sin necesidad de sustituir todo el panel.
  - Los costes de rehabilitación serán menores, ya que se trata únicamente de sustituir la chapa exterior.
  - Buena clasificación frente al fuego debido a que el sándwich está formado por materiales incombustibles (chapa metálica y lanas de vidrio). El sándwich formado por chapa - lana de vidrio - chapa, tiene una clasificación A1 según norma EN 13501.
  - Fácil instalación debido a la ligereza de los materiales y a que la lana de vidrio se adapta perfectamente a la chapa metálica.
  - Sistema versátil que permite la realización de proyectos creativos, ya que permite radios pequeños de curvatura consiguiendo grandes resultados estéticos y la posibilidad de personalización corporativa.
  - Mejora notable del aislamiento acústico.

### **2.1.2 Cubiertas y cerramientos verticales mediante *sándwich* prefabricado**

Los paneles *sándwich* prefabricados son elementos autoportantes, constituidos por un núcleo aislante de elevada rigidez formado por lana mineral de diferentes espesores, y dos láminas metálicas exteriores que lo delimitan.

La lámina exterior está constituida normalmente por chapas de acero tratadas y con acabados diversos en función de los factores climatológicos y medioambientales:

- Pintura de poliéster: proporciona total resistencia frente a la corrosión y presenta muy buena relación calidad-precio.
- Recubrimiento a partir de resinas: recomendable en situaciones con alta exigencia estética.
- Láminas plásticas: aconsejable en ambientes corrosivos, especialmente en zonas marítimas.

Las ventajas frente a los sistemas de fabricación in situ:

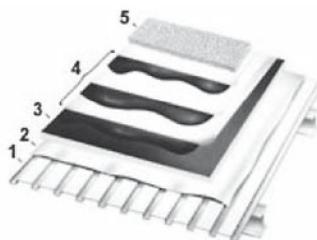
- Gran resistencia a la flexión.
- Facilidad y rapidez de montaje; es la solución que ofrece un montaje más rápido frente a cualquier otro sistema de cerramiento.
- Estanqueidad frente al agua y al aire.
- Excelente aislamiento acústico que puede mejorarse utilizando paneles *sándwich* con su cara interna perforada.
- Resistencia y estabilidad frente al fuego; además de no propagar la llama, actúan como retardadores en caso de incendio.
- Homologados y fabricados en serie, lo que garantiza una composición uniforme.

### 2.1.3 Cubiertas tipo *deck*

Este sistema se utiliza en cubiertas no transitables con pendientes del 1 al 5%.

Los elementos que componen una cubierta *deck* son los siguientes:

1. Soporte base de chapa perfilada.
2. Barrera de vapor: para locales de trabajo de humedad relativa alta, poco ventilados, con temperaturas exteriores e interiores bajas o en atmósferas agresivas, en las cuales pueden aparecer condensaciones intersticiales en la zona del aislante, se procederá a instalar una barrera de vapor entre la chapa metálica y el aislamiento.
3. Aislamiento térmico: principalmente, lana de roca, perlita expandida o vidrio celular.
4. Impermeabilización: su misión principal es garantizar la estanqueidad del sistema, así como asegurar que el aislamiento mantenga íntegras todas sus propiedades.
5. Protección pesada, tipo gravilla o áridos en la parte superior de la cubierta.



Entre las **ventajas** que ofrece el sistema de cubierta **deck**, destacan:

- Gran impermeabilización.
- Resistencia mecánica.
- Ligereza y capacidad para integrar instalaciones y mecanismos.
- Resistencia adecuada al paso del vapor.
- Aislamiento térmico y acústico.

### **2.1.4 Paneles de hormigón para cerramientos verticales**

Los paneles de hormigón armado son piezas planas prefabricadas destinadas a servir de cerramiento de naves industriales, etc.

Los espesores de los paneles más habituales son 12 cm, 16 cm, 20 cm, 24 cm y 30 cm. Los paneles pueden ser aislados o macizos. Los paneles macizos se colocan cuando no tiene importancia el aislamiento térmico pero sí es importante una alta resistencia del panel o un buen nivel de aislamiento acústico (a más masa, mayor aislamiento acústico)

Según su estructura, el panel puede ser de hormigón armado o pretensado. La sección del panel de hormigón armado está compuesta por una capa exterior de 4 ó 5 cm de hormigón, con un mallazo intermedio, que proporciona el acabado del panel; a continuación se dispone de 8 a 15 cm de aislamiento, y finalmente, se coloca otra capa de hormigón de 4 ó 6 cm que forma la otra cara del panel.

Cuando el panel de hormigón debe ser aislado sin puentes térmicos, se realiza mediante una capa de acabado de 5 cm con mallazo, sobre la cual se coloca el aislamiento y posteriormente una capa de hormigón macizo de 10 ó 15 cm. La capa de acabado se conecta con la capa resistente mediante conectadores metálicos que existen en el mercado para tal efecto.

Existe también la posibilidad de utilizar **bloque de hormigón** para cerramientos verticales. El cuerpo del bloque de hormigón presenta perforaciones repartidas uniformemente de acuerdo al eje normal al plano de asiento con un volumen no mayor a los 2/3 del volumen total del bloque. Los bloques de hormigón se pueden encontrar tanto para revestir como cara vista.

## 2.2 Recomendaciones para un buen aislamiento

- Cuidar sobre todo el aislamiento de la cubierta. En una nave dotada de un buen nivel de aislamiento general, el 70 % de las pérdidas de energía se produce a través de la misma (espesor mínimo del aislante: 5 cm)
- Aislar bien una nave permitirá conseguir los parámetros de confort recomendados (temperatura, humedad) con más facilidad; y por lo tanto, mejorar el rendimiento de los equipos de climatización para alcanzar dichos parámetros.
- Emplear buenos aislamientos: impermeables al vapor de agua, que no retengan la humedad, resistentes a los golpes y con protección frente a los rayos ultravioleta.
- Aislar bien las naves proporciona mejores resultados y una mejor relación coste/beneficio. Es más conveniente esta solución que sobredimensionar los equipos de climatización para disminuir los efectos del frío en invierno y del calor en verano.

## 2.3 Propiedades higrotérmicas de materiales y productos

En el Catálogo de Elementos Constructivos del CTE se presentan las propiedades higrotérmicas de los diferentes materiales de construcción. A continuación se muestra un resumen de dichos datos para algunos de los cerramientos comentados anteriormente:

Productos prefabricados con materiales aislantes		
Producto	$\rho^2$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda^3$ (W/m K)
Panel <i>sándwich</i> con alma de poliuretano (PPU)		
- Panel con hidrofluorocarbono HFC	35 – 50	0,022 – 0,037
- Panel con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	45 – 55	0,025
Panel <i>sándwich</i> con alma de lana mineral	100 – 175	0,046 – 0,040
Panel <i>sándwich</i> con alma de poliestireno expandido	10 – 50	0,039 <sup>4</sup> – 0,029
Panel <i>sándwich</i> con alma de poliestireno extruido	10 – 50	0,042 – 0,029

<sup>2</sup> Los valores de densidad,  $\rho$ , corresponden únicamente al alma aislante del panel.

<sup>3</sup> La conductividad térmica,  $\lambda$ , de los paneles *sándwich* de alma aislante no incluye los efectos de la periferia de sujeción. Los valores de conductividad,  $\lambda$ , corresponden únicamente al alma aislante del panel.

<sup>4</sup> Valor recomendado. Existen tipos de poliestireno expandido con una conductividad de hasta 0,046 W/mK.

Aislantes térmicos		
Material o Producto	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda$ (W/m K)
Poliestireno expandido (EPS)	-	0,039 <sup>5</sup> – 0,029
Poliestireno expandido elastificado (EEPS)	-	0,046 – 0,029
Poliestireno extruido (XPS)		
- Expandido con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	-	0,039 – 0,033
- Expandido con hidrofluorocarbonos HFC	-	0,039 – 0,029
Lana mineral (MW)	-	0,050 – 0,031
Espuma rígida de poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)		
- Proyección con hidrofluorocarbono HFC	30 – 60	0,028
- Proyección con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	40 – 60	0,035 – 0,032
- Plancha con hidrofluorocarbono HFC o hidrocarburo (pentano) y revestimiento permeable a gases	-	0,030 – 0,027
- Plancha con hidrofluorocarbono HFC o hidrocarburo (pentano) y revestimiento impermeable a gases	-	0,025 – 0,024
- Inyección en tabiquería con dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	15 – 20	0,040
Otros materiales aislantes		
- Panel de perlita expandida EPB (>80%)	140 – 240	0,062
- Panel de vidrio celular (CG)	100 – 150	0,050
- Guata o fieltro de poliéster	20 – 50	0,038 – 0,033
- Espuma de polietileno reticular	-	0,072 – 0,038
- Espuma de polietileno no reticulado	-	0,042 – 0,035

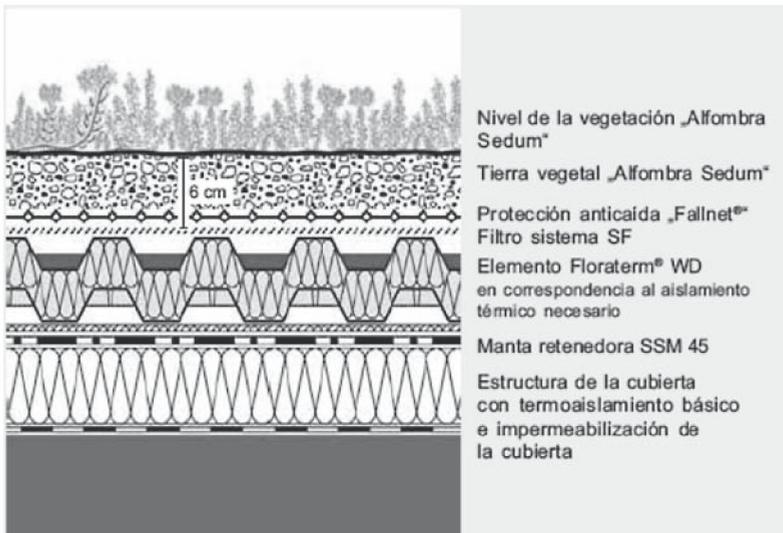
## 2.4 Cubiertas ecológicas

A continuación se presentan propuestas más novedosas y que respetan el medio ambiente; todavía no se utilizan apenas, sobre todo en el caso de las cubiertas de naves industriales, pero presentan grandes beneficios como son mejorar el microclima, absorber el polvo, aumentar el aislamiento acústico de la cubierta y mejorar su aislamiento térmico. Por otro lado protegen el aislamiento de las cubiertas contra la radiación ultravioleta y las inclemencias del tiempo, prolongando la duración de las cubiertas.

<sup>5</sup> Valor recomendado. Existen tipos de poliestireno expandido con una conductividad de hasta 0,046 W/mK.

### 2.4.1 Cubiertas vegetales

La cubierta es una estructura sometida a grandes fluctuaciones térmicas y a una gran exposición solar en verano. Las cubiertas vegetales llevan a cabo las funciones habituales de cualquier cubierta (protección, impermeabilización, aislamiento térmico y acústico) y además ofrecen protección frente a la radiación solar y aprovechan el efecto amortiguador de la temperatura que tiene la tierra gracias a su inercia térmica, de modo que se reducen tanto las pérdidas como las ganancias excesivas de energía o calor a través de la cubierta. Este efecto supone un aumento de las condiciones de confort y, a largo plazo, un ahorro energético por climatización.



Esquema de cubierta vegetal. Cortesía de ZINCO.

### Tipos de cubiertas vegetales

Generalmente las cubiertas vegetales se dividen en cubiertas extensivas e intensivas.

Las **extensivas** son cubiertas verdes que requieren un mantenimiento mínimo o inexistente. Consisten en un pequeño espesor de suelo, de como mínimo unos 76 mm pero que no supera los 12 cm, y en el que predomina el contenido mineral. Las variedades de plantas quedan restringidas a herbáceas, musgos y plantas crasas tipo *Sedum*. Estas plantas deben ser resistentes a condiciones climáticas

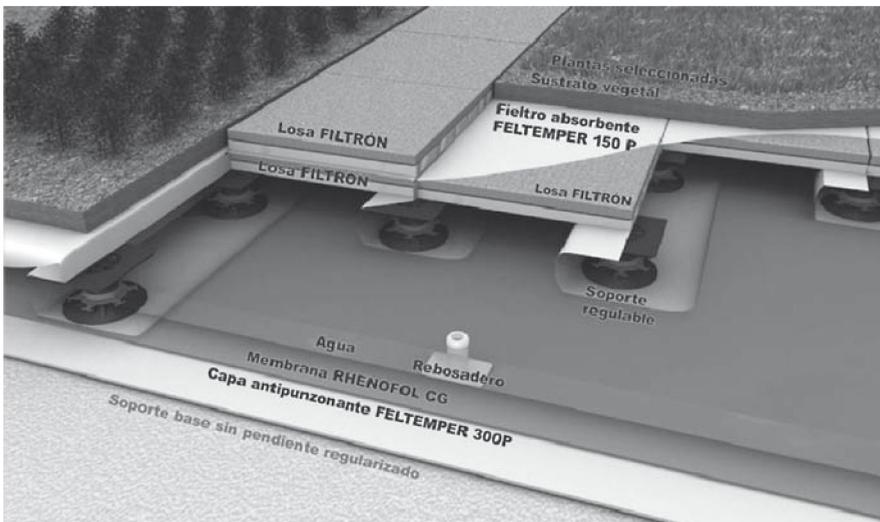
duras, como sequías, fuertes vientos, lluvias intensas o heladas. Se genera menos biomasa que en las cubiertas intensivas, y se pueden aplicar en las rehabilitaciones de edificios ya que no suponen una carga adicional importante para la estructura. Este tipo de cubierta se podría aplicar también a cubiertas inclinadas, aunque en este caso hay que ser aún más cuidadoso en el diseño del drenaje. Las cubiertas extensivas pueden requerir mantenimiento una vez al año.

Las *intensivas* son cubiertas verdes que requieren un mantenimiento regular (riego, fertilización...) y no se consideran aplicables al caso de edificios industriales.

### 2.4.1 Cubiertas aljibe

Es un sistema de cubierta invertida y transitable para ser instalada en azoteas planas con un depósito de aguas pluviales, culminada con una superficie vegetal ligera y autosuficiente. Entre las ventajas se encuentran:

- Provee al usuario de un depósito de agua para usos auxiliares como riegos, redes secundarias, etc.
- Se disminuyen las pérdidas de energía a través de la cubierta.
- Contribuye al aislamiento acústico.
- Constituye protección pasiva contra incendios.

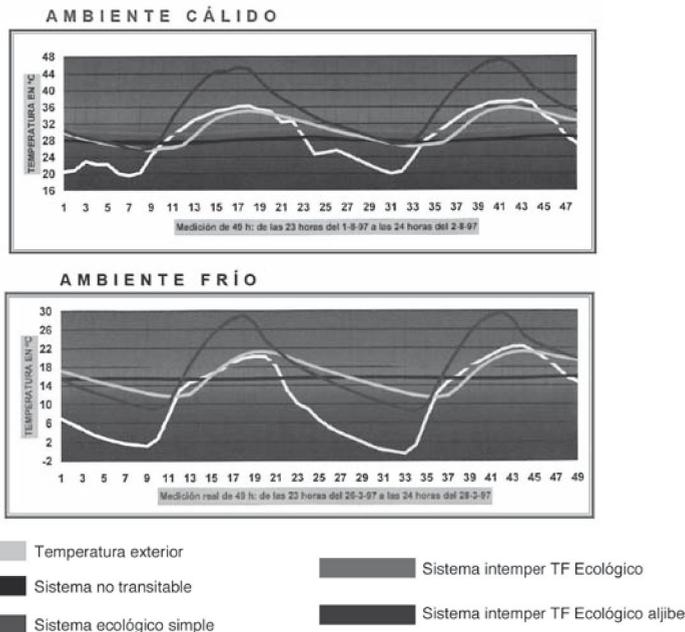


Cubierta aljibe. Cortesía de INTEMPER

Según varios estudios realizados, se puede decir que, en condiciones de invierno, las cubiertas que tienen mejor comportamiento son las cubiertas aljibe de 8 cm aisladas, con una reducción del consumo del 65-70 % con respecto a una cubierta invertida. En condiciones de verano, las óptimas son las cubiertas ecológicas con aljibe de 8 ó 16 cm aisladas, que producen una reducción del 91-93 % del consumo con respecto a una cubierta invertida. Finalmente, evaluando el consumo anual, tanto de calefacción como de refrigeración, la óptima es la cubierta ecológica con aljibe de 8 cm aislada, que produce una reducción del 70 % del consumo con respecto a una cubierta invertida<sup>6</sup>.

Con estos sistemas de cubiertas en verano se dificulta la entrada de flujo de calor al interior del edificio gracias al efecto térmico que proporciona el tapiz vegetal. En cambio en invierno la gran inercia térmica del sistema obstaculiza la pérdida de calor a través de la cubierta.

En las siguientes gráficas se observa como las oscilaciones de temperatura en la cubierta se minimizan con la consiguiente reducción de la demanda energética del edificio.



*Oscilaciones de temperatura según tipo de cubierta. Cortesía de INTEMPER.*

<sup>6</sup> "Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo modelo constructivo". F. J. Neila, C. Bedoya, C. Acha, F. Olivieri, M. Barbero. Informes de la construcción Vol.60, 511, 15-24, julio-septiembre 2008 ISSN: 0020-0883, eISSN: 1988-3234

## 2.5 Ejemplo: comparación de tipos de cerramientos

Se considera una nave de planta 40 x 20 m y 8 m de altura. Se van a comparar las pérdidas térmicas suponiendo diversos tipos de cerramientos en fachadas y cubiertas. El resto de los factores que afectan al cálculo de cargas térmicas se consideran idénticos en todos los casos.

Datos constantes para todos los casos	
Temperatura exterior de diseño (°C)	-4
Temperatura interior (°C)	18
Ventilación (renovaciones/hora)	2
Calor interno (W/m <sup>2</sup> )	15
Grados-día base 15	2.048
Horas de funcionamiento al día	8

Elemento	Sup(m <sup>2</sup> )	Tipo 1		Tipo 2	
		Composición	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Composición	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Fachada	864	Hormigón prefabricado sin aislar	2,8	Panel <i>sándwich</i> 50 mm lana de roca	0,69
Cubierta	800	Chapa sin aislamiento	4	Panel <i>sándwich</i> 30 mm lana de roca	1,2
Huecos	96	Vidrio simple	5	Vidrio simple	5
Forjados	800	Bovedilla hormigón	0,4	Bovedilla hormigón	0,4

Elemento	Sup(m <sup>2</sup> )	Tipo 3		Tipo 4	
		Composición	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Composición	U (W/m <sup>2</sup> °C)
Fachada	864	Panel <i>sándwich</i> 80 mm lana de roca	0,45	Panel <i>sándwich</i> 100mm de poliuretano	0,23
Cubierta	800	Panel <i>sándwich</i> 80 mm lana de roca	0,45	Panel <i>sándwich</i> 100mm de poliuretano	0,23
Huecos	96	Vidrio simple	5	Vidrio simple	5
Forjados	800	Bovedilla hormigón	0,4	Bovedilla hormigón	0,4

A continuación se presentan para cada tipo de nave los valores de la potencia necesaria de calefacción, las pérdidas anuales y el coste anual de calefacción suponiendo que el combustible utilizado es gasóleo a 0,05 €/kWh:

Caso	Potencia necesaria (kW)	Consumo térmico estimado (kWh)	Coste anual calefacción (€)
Tipo 1	233,76	174.086,12	6.963
Tipo 2	144,37	107.517,27	4.301
Tipo 3	126,61	94.289,48	3.772
Tipo 4	118,56	88.291,63	3.532

Para evaluar el efecto del espesor del aislamiento, se seleccionan las naves tipo 2 y tipo 3, que consideramos con construcción idéntica cambiando únicamente el espesor del aislamiento interior del panel *sándwich*, y calculamos la inversión necesaria según cada uno de los tipos de cerramientos. Los precios de los diferentes cerramientos puestos en obra que se han considerado son los siguientes:

Elemento	Sup (m <sup>2</sup> )	Tipo 1		Tipo 2	
		Composición	€/m <sup>2</sup>	Composición	€/m <sup>2</sup>
Fachada	864	Panel sándwich 50 mm lana de roca	45,48	Panel sándwich 80 mm lana de roca	49,34
Cubierta	800	Panel sándwich 30 mm lana de roca	32,24	Panel sándwich 80 mm lana de roca	40,31
Inversión		65.037	€	74.878	€

*El ahorro económico en calefacción es de 529 €/año con un sobrecoste en la inversión de 9.791 € que, considerando un periodo de retorno simple, se recupera en 18,5 años. A este ahorro hay que añadir la reducción de coste en equipos de calefacción (generación y emisión) al reducir la demanda del edificio de 144 a 128 kW. Para una caldera de gasóleo, esta reducción de potencia supondría un ahorro de 2.000 €.*

## TABLA DE COMPARACIÓN DE DISTINTOS TIPOS DE CERRAMIENTOS

A continuación se presenta una tabla con precios orientativos a la fecha de elaboración del presente manual de diferentes cerramientos, puestos en obra, y las pérdidas de calefacción a través de cada cerramiento. Se utiliza para el cálculo la nave y las condiciones de diseño del apartado anterior.

CERRAMIENTOS DE FACHADA					
Tipo	Aislamiento	Espesor aislamiento (mm)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Precio (€/m <sup>2</sup> )	Pérdidas calefacción (kWh)
Panel <i>sándwich</i>	Espuma poliuretano	30	0,68	53,45	9.626
Panel <i>sándwich</i>	Espuma poliuretano	50	0,43	57,67	6.087
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	50	0,69	45,48	9.767
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	60	0,63	46,77	8.918
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	80	0,45	49,34	6.370
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	100	0,37	53,51	5.238
Panel <i>sándwich</i>	Poliestireno expandido	50	0,76	50,43	10.758
Panel <i>sándwich</i>	Poliestireno expandido	70	0,54	52,21	7.685
Panel <i>sándwich</i>	Manta fibra de vidrio	80	0,53	62,25	7.503
Hormigón prefabricado	Poliestireno	10	1,83	69,08	25.905

CERRAMIENTOS DE CUBIERTAS					
Tipo	Aislamiento	Espesor aislamiento (mm)	U (W/m <sup>2</sup> °C)	Precio (€/m <sup>2</sup> )	Pérdidas calefacción (kWh)
Panel <i>sándwich</i>	Espuma poliuretano	30	0,68	29,67	8.913
Panel <i>sándwich</i>	Espuma poliuretano	50	0,43	35,19	5.636
Panel <i>sándwich</i>	Poliestireno expandido	40	0,95	26,8	12.452
Panel <i>sándwich</i>	Poliestireno expandido	50	0,76	29,71	9.961
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	30	1,2	32,24	15.729
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	50	0,69	35,39	9.044
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	80	0,45	40,31	5.898
Panel <i>sándwich</i>	Lana de roca	100	0,37	43,71	4.850
Chapa galvanizada	-		4	21,61	52.429
Cubierta <i>deck</i>	Lana de roca	60	0,41	39,12	5.374
Cubierta <i>deck</i> monocapa	Lana de roca	40	0,53	39,5	6.947

## 2.6 Método de cálculo de cargas térmicas de calefacción

Este método contempla dos factores:

- Carga térmica por transmisión a través de los cerramientos.
- Carga térmica por enfriamiento de los locales por la ventilación y las infiltraciones de aire exterior.

### A. Cargas térmicas por transmisión:

Los datos necesarios a tener en cuenta son:

- Tipo de cerramiento que determina el coeficiente global de transmisión de calor  $U$ : el cálculo se realiza conociendo la composición del cerramiento y según tablas de CTE.
- Orientación de los cerramientos (coeficiente de orientación  $C_0$ )
- Superficie de cerramiento expuesta a una diferencia de temperatura.
- Temperatura de diseño del local calefactado: según la IT 1.1.4.1.2 del RITE no puede sobrepasar los  $23^{\circ}\text{C}$ .
- Temperatura exterior: depende de las condiciones climáticas de la localidad.
- Coeficiente de intermitencia de la instalación  $C_i$ .

$$Q_t = C_0 \cdot C_i \cdot U \cdot S \cdot (t_{\text{interior}} - t_{\text{exterior}})$$

Los valores habituales del coeficiente de orientación se presentan en la siguiente tabla:

Norte	Sur	Este	Oeste
1,15	1	1,1	1,05

El coeficiente de intermitencia es un coeficiente de seguridad; habitualmente se emplea el valor de **1,1**.

### B. Cargas térmicas por ventilación o infiltración de aire exterior:

Los factores que influyen en este término son:

- Volumen del local a calefactar.

- Número de renovaciones hora (N): depende de la ventilación con que dotemos al local; al menos debemos emplear una renovación por hora.
- Calor específico del aire en base al volumen: 0,33 kW/hm<sup>3</sup> °C.
- Temperatura del local calefactado.
- Temperatura exterior.

$$Q_v = V \cdot N \cdot 0,33 \cdot (t_{interior} - t_{exterior})$$

### C. Cargas internas:

Cargas generadas en el local debido a la ocupación y la potencia instalada en iluminación y otros equipos. La siguiente tabla muestra unos valores orientativos según el uso del edificio:

Edificio	W/m <sup>2</sup>
Oficina	10-20
Planta de laminación de acero	50-70
Taller de coches	15
Taller mecánico	20
Taller de mecánica pesada	50
Chapa metálica/soldadura	25

Fuente: FRICO

La potencia útil de la instalación de calefacción corresponde a las cargas térmicas globales, que es la suma de los dos factores anteriores restando las cargas internas:

$$P = Q_t + Q_v - Q_i$$

La potencia a instalar se multiplica por un factor de seguridad, normalmente 1,2:

$$P_i = 1,2 \cdot P$$

El consumo energético de calefacción depende de los grados-día de la localidad, de las horas de funcionamiento y del rendimiento de la instalación:

$$E_{consumida} = \frac{P \cdot G \cdot h_{funcionamiento}}{(T_i - T_e) \cdot Rendimiento \cdot 365}$$

Donde:

P es la potencia instalada.

G son los grados-día base 15, que se pueden obtener de las tablas de la norma UNE 100-002-88.

$h_{\text{funcionamiento}}$  son las horas anuales de funcionamiento del equipo.

Para un cálculo rápido podemos establecer unos valores de Watios/m<sup>2</sup> aproximados:

Nave bien aislada	Nave con aislamiento medio	Nave mal aislada
De 80 a 150 W/m <sup>2</sup>	De 120 a 200 W/m <sup>2</sup>	De 120 a 250 W/m <sup>2</sup>

Para calefactar muelles de carga, zonas aisladas, puestos de trabajo, o locales de uso intermitente y corto, el valor está entre 150 y 300 W/m<sup>2</sup>.

## 2.7 Método de cálculo de cargas térmicas de refrigeración

El cálculo de la carga térmica para refrigeración es más complejo que para calefacción, pues hay que considerar dos nuevos factores:

- La insolación solar a través de ventanas.
- Las aportaciones de humedad.

Por tanto el cálculo consta de dos partes: la parte *sensible*, que tiene en cuenta sólo las variaciones de temperatura, y la parte *latente*, que tiene en cuenta las variaciones de humedad.

### A. Cargas sensibles:

- Cargas por transmisión a través de cerramientos opacos:

$$Q_{t1} = U \cdot S \cdot \Delta t_c$$

Donde  $\Delta t_c$  es la diferencia de temperatura corregida según la orientación del muro y su peso, y la oscilación diaria de temperaturas, y puede obtenerse de tablas (Corrección temperaturas exteriores de cálculo. UNE 100.014/84)

- Cargas por transmisión a través de cerramientos traslúcidos:

$$Q_{t2} = U \cdot S \cdot \Delta t$$

Donde  $\Delta t$  es la diferencia de temperaturas entre la cara exterior del cerramiento y la cara interior.

- Cargas térmicas por radiación solar:

$$Q_r = S \cdot R \cdot f$$

Donde S es la superficie traslúcida expuesta a la radiación.

R es la radiación solar que atraviesa un vidrio sencillo, tabulada para cada latitud.

f es el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio, efectos de sombras, etc.

- Carga sensible por ventilación o infiltración de aire exterior:

El cálculo es el mismo que para el cálculo de cargas de calefacción:

$$Q_v = V \cdot N \cdot 0,33 \cdot (t_{interior} - t_{exterior})$$

- Cargas internas:

- Carga sensible por ocupación del local: se determina multiplicando el calor sensible emitido por una persona tipo por el número de ocupantes del local.
- Carga generadas por la iluminación del local: en función de la potencia total instalada.
- Cargas generadas por las maquinas presentes en el local.

Las cargas sensibles totales son la suma de todos los términos anteriores:

$$Q_{sensible} = Q_{t1} + Q_{t2} + Q_r + Q_v$$

## B. Cargas latentes:

- Carga latente por ventilación o infiltración de aire exterior:

$$Q_{lvent} = 0,84 \cdot V \cdot \Delta w$$

Donde  $V$  es el caudal de aire infiltrado o de ventilación ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$\Delta w$  es la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior y el interior.

0,84 es el producto de la densidad estándar del aire por el calor latente de vaporización del agua en unidades internacionales.

- Carga latente por ocupación del local: se determina multiplicando el calor latente emitido por una persona tipo por el número de ocupantes del local.

**Las cargas latentes totales:**

$$Q_{\text{latente}} = Q_{\text{ivent}} + Q_{\text{locup}}$$

**La carga de refrigeración es la suma de las cargas sensibles y latentes:**

$$Q_{\text{refrigeracion}} = Q_{\text{sensible}} + Q_{\text{latente}}$$

## 2.8 Software

Existe gran cantidad de programas informáticos para el cálculo de cargas térmicas de calefacción y refrigeración, aunque en general son indicados para edificios del sector terciario, donde las condiciones de confort adquieren gran importancia. Por otro lado, muchos de estos programas se basan en los parámetros y condiciones impuestos por el Código Técnico de Edificación en su documento básico DB HE Ahorro de energía; esta normativa no es de aplicación para el caso de naves industriales.

Existen hojas de cálculo, de uso mucho más rápido y sencillo, perfectamente válidas para calcular las cargas térmicas y así dimensionar la calefacción necesaria en una nave industrial.

## 3. SISTEMAS DE CALOR Y FRÍO. SISTEMAS AUXILIARES

A continuación se describen sistemas de generación, distribución y gestión de calor y frío que se utilizan en naves industriales y que pueden ayudar a la selección de soluciones tanto en fase de diseño como para la sustitución de instalaciones obsoletas o ineficientes.

### 3.1 Calderas

La caldera es un equipo que transfiere la energía producida en un proceso de combustión a un fluido. En el caso de calderas para calefacción, el fluido de trabajo es el agua, que una vez calentado se distribuye a los emisores, que transfieren la energía almacenada en el fluido al ambiente exterior. Con carácter general, las calderas para calefacción de naves utilizan los siguientes combustibles:

- Gas licuado del petróleo (GLP)
- Gasóleo.
- Fueloil.
- Gas natural.
- Productos resultantes del sistema productivo.
- Biomasa.

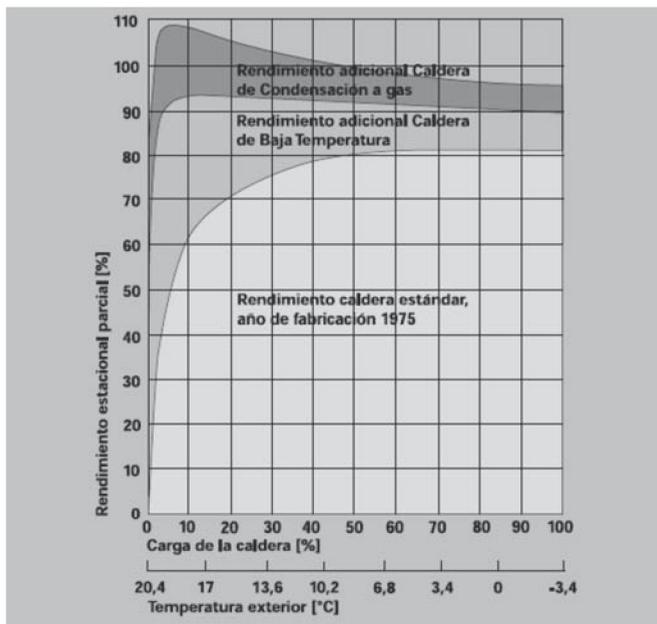
#### 3.1.1 Calderas de alto rendimiento: baja temperatura y condensación

A la hora de seleccionar una caldera, es importante buscar el máximo rendimiento. Las calderas de alto rendimiento mejoran la eficiencia de las calderas convencionales a carga máxima. Sin embargo, la caldera no siempre está funcionando a carga total, y en las calderas convencionales el rendimiento disminuye sensiblemente conforme desciende el régimen de carga. Las ventajas de las calderas de alto rendimiento son especialmente visibles justo en estas situaciones de baja carga: la caldera estándar genera pérdidas considerables a medida que disminuye la carga de trabajo, porque la temperatura de caldera tiene que mantenerse alta incluso cuando las temperaturas requeridas al sistema de calefacción sean bajas. El porcentaje de las pérdidas por radiación en relación con el volumen total de energía utilizada aumenta considerablemente y provoca una reducción del rendimiento estacional.

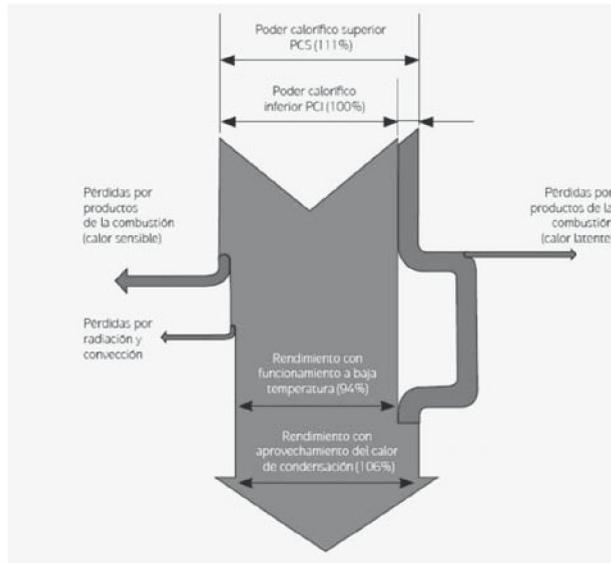
Las *calderas de baja temperatura* se caracterizan por ser capaces de mantener un alto rendimiento a baja carga, con temperaturas de salida de agua de

hasta 40 °C, mientras que las convencionales necesitan un mínimo de 60 °C para mantener un rendimiento aceptable. Las calderas de baja temperatura evitan la condensación de los gases de combustión; sin embargo, las **calderas de condensación** fuerzan que los gases de combustión se condensen, y de esta forma se puede aprovechar la energía latente en el vapor de agua para convertirla en calor sensible. Además, se reducen considerablemente las pérdidas por humos a través del sistema de salida de gases procedentes de la combustión, dado que se consigue una reducción de la temperatura de humos de más de 100 °C con respecto a las calderas de baja temperatura.

El Poder Calorífico Inferior (P.C.I.) define la cantidad de calor liberado tras una combustión completa cuando el producto de la misma contiene vapor de agua. El Poder Calorífico Superior (P.C.S.) define la cantidad de calor liberado tras una combustión completa, incluyendo el calor de evaporación contenido en el vapor de agua de los gases de combustión. Con el aprovechamiento adicional del calor latente y la referencia al P.C.I., en los cálculos referentes a la condensación se pueden producir rendimientos superiores al 100%.



Rendimiento estacional en función de la carga de la caldera  
(cortesía de Viessmann)



*Esquema del rendimiento en el proceso de condensación  
(cortesía de BAXIROCA)*

Especialmente en el ámbito de las potencias grandes, para aprovechar la condensación, se instalan recuperadores de calor en combinación con las calderas. Los recuperadores de calor humos/agua reducen de forma significativa la temperatura de los humos hasta alcanzar una temperatura tan sólo entre 10 y 15 °C superior a la de retorno del agua de la caldera. Con ello, el rendimiento estacional aumenta hasta un 10%. Un ahorro adicional, que representa la principal ventaja de los recuperadores de calor de humos, se consigue aprovechando el calor que se genera en las superficies frías de intercambio térmico durante la condensación de los gases de combustión. Con la conexión en serie de recuperadores de calor de humos, el rendimiento estacional de las calderas puede aumentar hasta en un 12%, reduciéndose proporcionalmente el consumo de combustible.

### **3.1.2 Calderas de biomasa**

Una buena alternativa es la utilización de calderas de biomasa, sobre todo en industrias cuyos residuos puedan ser utilizados como combustible. Otra posibilidad interesante es la utilización de residuos agrícolas o restos forestales a los que se pueda tener fácil acceso por encontrarse la nave en un entorno rural. De esta manera, la actividad industrial contribuiría al desarrollo de la actividad económica en las localidades cercanas a su localización.

Calentarse con la biomasa no sólo es beneficioso para el medio ambiente, sino también para el ahorro, porque a igualdad de calor producido, los combustibles vegetales cuestan mucho menos que los fósiles. En el capítulo de mercados energéticos se puede ver una comparación de los costes de los principales combustibles fósiles para calefacción y los principales tipos de biomasa.

Las principales diferencias entre las instalaciones de biomasa y las convencionales o basadas en combustibles fósiles, son las siguientes:

- Los sistemas basados en biocombustibles requieren más espacio. Además de necesitar de una caldera más voluminosa por las características de la biomasa, requieren de un acceso directo para la descarga del combustible, del depósito de almacenamiento del mismo y del espacio para alojar los dispositivos mecánicos para alimentación del combustible y la recogida de cenizas. Esto, que puede ser una seria desventaja en edificios de viviendas o del sector terciario, no resulta tan inconveniente en naves industriales.
- Generalmente, las instalaciones de biomasa necesitan de operaciones de mantenimiento más frecuentes y de una mayor vigilancia si se quiere garantizar su correcta operación. En particular, es imprescindible la limpieza frecuente de las cenizas en varios puntos de la instalación para asegurar el óptimo funcionamiento del sistema.
- La complejidad mecánica de la instalación se incrementa por el mayor número de equipos necesarios para la correcta gestión y operación del almacenamiento, de la manipulación y del control de la combustión de la biomasa, lo que evidentemente, se traduce en un incremento de la inversión inicial requerida.
- A menudo las instalaciones de combustión de biomasa necesitan trámites específicos relativos al seguro de la instalación, a las normas contra incendios, a las de la calidad del aire o a las de la seguridad en general.

### **3.1.3 Regulación de calderas. Sensores de oxígeno**

Uno de los puntos fundamentales que definen la eficiencia en la combustión de una caldera es la relación aire-combustible. Esta relación se ajusta en el mantenimiento periódico de las calderas. Sin embargo, esta relación puede verse modificada debido a diversos factores:

- Variaciones en el poder calorífico del combustible.
- Variaciones en la temperatura del aire de combustión.
- Desgastes y deterioro de componentes en el sistema de control.

Los sensores de oxígeno, también llamados sondas lambda, funcionan de manera que miden la concentración de oxígeno libre de forma continua dentro de la caldera, y de esta manera regulan la relación aire-combustible, manteniendo así las condiciones óptimas de combustión.

Estos dispositivos pueden suponer ahorros de combustible de al menos el 5%, lo que puede suponer períodos de retorno por debajo de los dos años en naves con calderas de alta potencia y consumo continuo.

Un sistema de análisis de oxígeno tiene tres componentes principales:

- Una sonda de oxígeno en la caldera.
- Un controlador electrónico.
- Un sistema de control capaz de actuar sobre la cantidad de aire de combustión que se introduce en el quemador.

Para que los períodos de retorno de la inversión sean aceptables, los sensores de oxígeno se deben aplicar en calderas grandes, de potencias superiores a 500 kW. Su beneficio máximo se alcanza cuando se combinan con quemadores modulantes: Estos quemadores regulan la salida de calor de la caldera de forma proporcional a la demanda en cada momento, reduciendo el número de encendidos y apagados con respecto a los quemadores convencionales.

Los sensores de oxígeno pueden funcionar con gas natural, GLP, así como con gasóleo y otros combustibles fósiles. Aunque pueden ser instalados de forma individual, los analizadores de oxígeno suelen ir incluidos en paquetes de control digital de combustión, ofertados a menudo con los propios quemadores.

### **3.1.4 Criterios de selección**

Es importante tener en cuenta los criterios de selección de las calderas para calefacción en una nave, ya que son instalaciones de una larga vida útil (en torno a 20 años) y las consecuencias de una elección poco eficiente se arrastrarían durante mucho tiempo. Entre los factores que hay que tener en cuenta a la hora de elegir una caldera para calefacción están, entre otros:

- Necesidad o existencia de otras calderas para suministro de calor a procesos industriales.
- Posibilidad de utilizar calores residuales de proceso.
- Generación de residuos de proceso que puedan utilizarse como combustible, etc.

A continuación se describe el proceso de selección del tipo de caldera para calefacción y A.C.S.

### ***Paso 1. Determinación de las características de la caldera***

- Si existe la necesidad de una caldera de mayor potencia para el proceso industrial, estudiar la posibilidad de utilizar esta caldera para generar calefacción y A.C.S.
- Si la diferencia de temperatura para proceso y para calefacción es grande, utilizar dos sistemas independientes, correctamente dimensionados.

### ***Paso 2. Seleccionar sistema centralizado o individual***

Evaluar las zonas donde va a ser necesaria la calefacción:

- Un sistema centralizado permite agrupar toda la demanda energética en un equipo o un grupo de equipos, con las consiguientes ventajas:
  - Reducción de costes por efectos de economía de escala.
  - Mayor facilidad de gestión de combustibles.
  - Más posibilidades de utilización de sistemas de recuperación de calor.
- Un sistema descentralizado de calefacción presenta por el contrario las siguientes ventajas:
  - Se reducen las pérdidas de distribución de calor (hasta un 40% se puede perder en los grandes sistemas centralizados)
  - Respuesta rápida de los sistemas a las necesidades.
  - Mayor flexibilidad de operación.

### ***Paso 3. Seleccionar el tipo de combustible***

En la actualidad, si existe la posibilidad de suministro de gas natural, éste presenta bastantes ventajas frente al gasóleo u otro tipo de combustibles:

- Precio por kWh más reducido.
- Menos emisiones de CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> y partículas.
- Mejor comportamiento y control de las calderas.
- Menos costes de mantenimiento.
- No hay necesidad de depósitos de combustible.

En el capítulo dedicado a los mercados energéticos se realiza una comparación detallada de los precios de distintos combustibles y su evolución prevista.

En la siguiente tabla se pueden comparar las emisiones de los distintos combustibles.

**Tabla de emisiones de distintos combustibles**

Tipo de energía	Coefficiente de emisiones (kgCO <sub>2</sub> /kWh)
Carbón de uso doméstico	0,347
GLP	0,244
Gasóleo	0,287
Fueloil	0,28
Gas natural	0,204
Biomasa y biocarburantes	0,00
Electricidad	0,649 (peninsular)
	0,981 (extra-peninsular)

Fuente: IDAE – Estructura de generación eléctrica en España

A la hora de seleccionar el tipo de combustible también hay que tener en cuenta:

- La posibilidad de utilizar residuos del proceso productivo como combustible para la caldera de calefacción y A.C.S.
- La necesidad estratégica de suministro alternativo en caso de fallo o corte en el suministro de combustible principal.

#### **Paso 4. Seleccionar el tipo de caldera**

- Es necesario un buen conocimiento de la demanda de la nave para un correcto dimensionamiento de la caldera. En el caso de naves industriales las cargas internas pueden ser muy relevantes.
- A la hora de seleccionar la caldera, hay que tener en cuenta que no siempre está funcionando a carga total, por lo que es importante evaluar el régimen de carga a la que va a estar sometida y comprobar los rendimientos a cargas parciales. Es interesante considerar la utilización de calderas de alto rendimiento, como calderas de baja temperatura o calderas de condensación (en este caso, sólo si se tiene acceso a gas natural). Este tipo de calderas tiene un alto rendimiento a baja carga.
  - La máxima eficiencia se obtiene cuando las calderas funcionan a plena carga. Por lo tanto:

- Se debe dimensionar la caldera de acuerdo a la demanda requerida.
  - En caso de demandas de calor muy diferentes, puede ser conveniente utilizar distintas calderas.
  - Evitar el sobredimensionamiento de calderas que funcionan casi todo el tiempo a carga parcial.
- Si se tiene fácil acceso a residuos sólidos, o bien son producto del propio proceso productivo, considerar la instalación de una caldera de biomasa.
  - Considerar el uso de sistemas de cogeneración en el caso de que exista demanda de calor durante todo el año (este caso suele producirse en calderas para proceso que a la vez suministran calefacción y ACS). Los sistemas de cogeneración en combinación con refrigeradores de absorción también pueden proporcionar frío en verano.

### ***Paso 5. Controlar el funcionamiento de las calderas***

Las condiciones en una nave son muy variables, la mayoría de las veces en función de los distintos procesos que estén en marcha, lo que puede suponer cambios de zona de trabajo, emisiones de calor al ambiente, etc. Por ello es necesario mantener un buen control para que las calderas funcionen de forma eficiente.

- Utilizar sistemas de control de la combustión que mantengan siempre la relación óptima de aire-combustible para una combustión eficiente. Utilizar quemadores modulantes.
- Las calderas son más eficientes cuando trabajan a plena carga. En caso de tener varias calderas, instalar un sistema de control que permita secuenciarlas para mantener operativo el mínimo número de ellas que permita cubrir la demanda de calor.
- Las pérdidas energéticas son mayores cuanto mayor es la temperatura de operación. En momentos de baja demanda (en meses no excesivamente fríos, por ejemplo) se pueden reducir las pérdidas en las conducciones reduciendo ligeramente las temperaturas de consigna del sistema.

### ***Paso 6. Diseñar el sistema de distribución***

- Diseñar el sistema de distribución de forma que aquellos conductos que den servicio a zonas que demandan calor de forma no continuada puedan ser aislados cuando no estén en funcionamiento.
- La utilización de variadores de frecuencia y motores de alta eficiencia en bombas y quemadores contribuyen a mejorar la eficiencia energética en los sistemas de generación de calor.

- Es importante un buen diseño del sistema de distribución de agua caliente para calefacción y A.C.S. En caso de sobredimensionamiento se producirían pérdidas térmicas; por el contrario, las bombas se sobrecargarán en caso de subdimensionamiento o si existe un excesivo número de codos o reducciones innecesarias en los conductos.
- Asegurar el correcto aislamiento de todos los conductos.

### 3.1.5 Dimensionamiento de las calderas

Para calcular la potencia de las calderas (teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas en el apartado anterior) se necesitan los siguientes datos:

- Cálculo de cargas térmicas de la nave industrial (incluyendo las cargas internas de la nave)
- Rendimiento de la caldera.
- Equipos emisores que se van a alimentar con la caldera.

El tipo de emisores es importante a la hora de dimensionar la nave. Como se verá más adelante, en función del emisor y de la altura a la que esté colocado existen unas pérdidas térmicas que se deben tener en cuenta. Para ello se debe tener en cuenta el gradiente de temperatura (°C/m), que es una medida del aumento de temperatura por metro de altura y varía en función del sistema de emisión.

Emisión	Gradiente de temperatura
Convectores	2-2,5 °C/m
Aerotermos	2-2,5 °C/m
Aerotermos con desestratificadores	0,3-0,6 °C/m
Radiadores	1,2-1,7 °C/m
Paneles radiantes	0,2-0,4 °C/m

Fuente: FRICO

La potencia útil de la caldera necesaria debe tener en cuenta entonces el efecto del gradiente térmico. El cálculo se realizaría con la siguiente ecuación:

$$P=P_0+\frac{P_0 \cdot G \cdot h^2}{2 \cdot \Delta t \cdot H}$$

Donde:

$P_o$  es la potencia útil necesaria sin tener en cuenta el gradiente de temperatura (kW)

$G$  es el gradiente de temperatura ( $^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )

$h$  es la altura de instalación de los emisores (m)

$\Delta t$  es la diferencia de temperatura de diseño entre el interior y el exterior de la nave ( $^{\circ}\text{C}$ )

$H$  es la altura de la nave (m)

De acuerdo con esto, para una nave con una potencia útil de cálculo de 105 kW (sin considerar el gradiente de temperatura), se necesita calcular cuál debe ser la potencia útil para la misma nave de 8 metros de altura, si con la caldera se calienta agua que alimenta los siguientes emisores:

- Aerotermos situados a 6 metros de altura ( $G = 2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )
- Aerotermos situados a 6 metros de altura con ventiladores desestratificadores en el techo ( $G = 0,3 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ )

Las temperaturas de diseño son  $t_{\text{int}} = 18 \text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $t_{\text{ext}} = -5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Una vez realizados los cálculos la potencia útil necesaria en cada caso es la siguiente:

Aerotermos sin desestratificadores       **$P_{\text{útil}} = 127,6 \text{ kW}$**

Aerotermos con desestratificadores       **$P_{\text{útil}} = 108,1 \text{ kW}$**

### 3.1.6 Ejemplos

#### EJEMPLO 1.

A continuación se compara el coste y dimensionamiento de diversas calderas en una misma situación. Se trata de un gran aserradero que necesita instalar una caldera de potencia útil de 300 kW. La nave tiene acceso a gas natural, y también tiene residuos que se pueden usar como combustible en una caldera de biomasa. Se van a evaluar las siguientes posibilidades de instalación:

- Caldera de gasóleo convencional.
- Caldera de gas natural convencional.
- Caldera de gas natural de baja temperatura.
- Caldera de gas natural de condensación.

- Caldera de biomasa alimentada con residuos del propio aserradero.
- Caldera de biomasa alimentada con pelets.

Se estiman los siguientes costes de combustible:

Gasóleo 0,05 €/kWh

Gas natural 0,04 €/kWh

Pelets 0,04 €/kWh

En todos los casos se estima una amortización a 18 años del total de la instalación de la caldera y equipamiento accesorio. Las condiciones de cálculo son también comunes en todos los casos<sup>7</sup>:

Temperatura exterior de diseño (°C)	-4
Temperatura interior (°C)	18
Ventilación (renovaciones/hora)	2
Calor interno (W/m <sup>2</sup> )	15
Grados día base 15	2048
Horas de funcionamiento día	8

La tabla siguiente muestra el balance anual de cada uno de los casos:

	Rendimiento	Pot. Nominal (kW)	Consumo anual estimado (kWh)	Instalación	Coste anual (€)		
					Amortización	Combustible	TOTAL
Caldera de gasóleo convencional	85%	353	262.835	58.600	3.255,6	13.141,8	16.397,3
Caldera de gas natural convencional	85%	353	262.835	73.000	4.055,6	10.513,4	14.569,0
Caldera de gas natural de baja temperatura	90%	333	248.233	74.600	4.144,4	9.929,3	14.073,8
Caldera de gas natural de condensación	95%	316	235.168	84.400	4.688,9	9.406,7	14.095,6
Caldera de biomasa alimentada con residuos del aserradero	90%	333	248.233	102.000	5.666,7	0,0	5.666,7
Caldera de biomasa alimentada con pelets	90%	333	248.233	102.000	5.666,7	9.929,3	15.596,0

<sup>7</sup> Correspondería a las condiciones de diseño para un edificio en las cercanías de Burgos.

En la tabla se observa cómo la selección de un equipo con buen rendimiento y un combustible adecuado tiene más importancia en el coste anual que el precio de la instalación de dicho equipo.

En la página del IDAE ([www.idae.es](http://www.idae.es)) se puede acceder a una base de datos de calderas eficientes, separadas en rango de potencias, y que contempla asimismo los rendimientos de las calderas a potencia nominal (100%) y a carga parcial (30%).

## EJEMPLO 2.

El siguiente ejemplo muestra lo beneficioso de la instalación de equipos de análisis de oxígeno y regulación de combustión en calderas de alta potencia.

Se instaló un sensor de oxígeno (integrado en un control digital de combustión) en una caldera de gas natural de 600 kW. El coste fue de 22.000 €. Junto al analizador se instaló un variador de frecuencia para el ventilador, con un coste de 800 €.

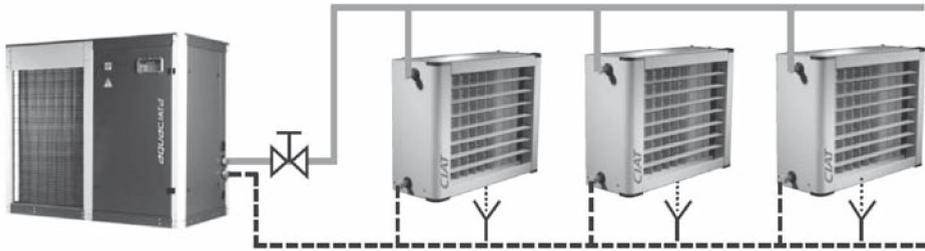
La caldera funcionaba 5 días a la semana, 24 horas al día, lo que suponía un consumo de 3.800.000 kWh al año. El analizador de oxígeno produjo un ahorro del 6%, lo que supone 198.000 kWh anuales de gas y 9.240 kWh eléctricos. A un precio de 4,0 cent€/kWh el gas y de 10,0 cent€/kWh la electricidad, el ahorro anual resultante es de 8.844 €. Esto supone un periodo de retorno simple de unos 2 años y medio.

## 3.2 Aerotermos

Los aerotermos son ventiladores que obligan a pasar al aire a través de una fuente de calor, absorben parte de este calor y lo impulsan hacia el interior de la nave. En función de la fuente de calor, los aerotermos pueden ser:

- Aerotermos de agua, vapor o aceite: el aire pasa a través de una batería que transporta vapor, agua o aceite caliente por el interior de unos tubos.
- Aerotermos eléctricos: el aire circula a través de una resistencia eléctrica.

Los aerotermos eléctricos son más sencillos de instalar, mientras que los aerotermos de agua, vapor o aceite necesitan de una red de distribución del fluido, así como de un generador primario (caldera). En ocasiones los aerotermos se pueden conectar a una enfriadora y en este caso pueden actuar como emisores de frío. Existen también aerotermos eléctricos portátiles para cubrir demandas puntuales.



Esquema de aerotermos conectados a una bomba de calor. Cortesía de CIATESA

Los aerotermos son una buena solución en naves cerradas, mientras que en aquellas con aperturas al exterior, o con puertas o muelles de carga que se abren a menudo, es conveniente utilizar otras medidas de calefacción, como el calor radiante.

Asimismo, cuando la altura de la nave supera los 4,5 metros, es conveniente la instalación de ventiladores desestratificadores que muevan el aire y eviten que el calor se acumule en la parte superior de la nave.

Una ventaja importante de estos equipos es la posibilidad de aprovechar calores residuales del proceso productivo en forma de agua caliente o vapor: este calor se puede aportar al sistema de alimentación de los aerotermos y utilizarlo para la calefacción de la nave.

### 3.2.1 Criterio de selección

La selección de los aerotermos es relativamente sencilla, aunque hay que tener en cuenta dos cosas:

- A partir del cálculo de la demanda, no hay más que asegurarse que la suma de las potencias de los aerotermos seleccionados cubre la mencionada demanda, teniendo en cuenta la altura de instalación de los equipos y el gradiente de temperatura.
- Se debe permitir una tasa de renovación de aire adecuada para asegurar una distribución homogénea de la temperatura en la nave. Las tasas de renovación satisfactorias son:
  - De 3 a 5 renovaciones/hora del volumen total del local, en locales de menos de 5 m. de altura o inferiores a 10.000 m<sup>3</sup>
  - De 3 a 4 renovaciones/hora en locales de volumen superior a 10.000 m<sup>3</sup> o más de 5 m. de altura.

**Altura de montaje:** de 2,5 a 3 m. sobre el suelo para los modelos más pequeños y de 3 a 5,50 m. para los demás en el caso de equipos de pared. Los modelos de techo de soplado vertical pueden instalarse entre 3 y 20 m. según tamaño.

**Temperatura de entrada de aire:** debido a la tendencia del aire a estratificarse, a mayor altura, mayor será la temperatura de entrada del aire, que aumenta aproximadamente a razón de  $2,2^{\circ}\text{C}$  por metro por encima del nivel de trabajo.

**Temperatura de salida del aire:** la temperatura de soplado no debe ser demasiado alta para evitar la estratificación y la tendencia del aire caliente a acumularse en el techo. Se recomienda como norma general una temperatura entre  $30^{\circ}$  y  $50^{\circ}\text{C}$ .

La temperatura de salida del aire se determina por la fórmula:

$$\text{Temp. salida} = \text{Temp. entrada} + \frac{\text{Potencia (kW)} \cdot 1000}{Q (\text{m}^3/\text{h}) \cdot 0,33 \left( \frac{\text{Wh}}{\text{m}^3\text{C}} \right)}$$

Donde:

Q es el caudal de aire del aerotermo.

$0,33 \text{ Wh/m}^3\text{C}$  es el calor específico del aire a  $15^{\circ}\text{C}$ .

**Número de aerotermos:**

El número de aerotermos a instalar depende básicamente del tipo de edificio, volumen, tipo de aislamiento etc. Normalmente se instalan alineados, para permitir una buena distribución de calor en la nave. Un correcto posicionamiento de los aerotermos puede compensar la influencia negativa de zonas mal aisladas de la envolvente (ventanas frías, puertas, etc.)

### 3.2.2 Ejemplos

Se quiere calentar una nave de  $800 \text{ m}^2$  y 8 metros de altura con aerotermos en posición mural. El cálculo de cargas requiere una demanda de  $127,6 \text{ kW}$ . Para el cálculo de los aerotermos se incrementa en un 10% por pérdidas de carga en la distribución.

Potencia de cálculo:  $140,4 \text{ kW}$

Para conseguir una buena homogeneización de temperaturas se necesitan 4 renovaciones/hora. El caudal que se debe suministrar con los aerotermos es de:

$$Q = 6.400 \text{ m}^3 \cdot 4 \text{ ren/h} = 25.600 \text{ m}^3/\text{h}$$

Con estos datos se acude a las tablas de los distintos fabricantes. Hay que tener en cuenta que la potencia de los aerotermos depende de:

- Tipo de fluido calefactor (agua caliente, agua recalentada, aceite, vapor)
- Temperatura de entrada del fluido en el aerotermino.
- Salto térmico del fluido en la batería en el aerotermino.
- Temperatura de entrada del aire.

Cada fabricante suministra las tablas donde corrige la potencia de los aerotermos en función de cada uno de estos parámetros.

En este caso se seleccionó el modelo CIAT HELIOTERMO H4401 MONO. Este aparato tiene un caudal de 4.200 m<sup>3</sup>/hora y una potencia de calefacción de 20,2 kW en las siguientes condiciones de trabajo:

- Agua caliente con salto térmico de 20 °C: 90 °C - 70 °C (t entrada - t salida)
- Temperatura de entrada del aire: 15 °C.
- Alcance de 26 metros en instalación mural.

La demanda y las renovaciones de la nave se cubren con 7 aerotermos, aunque para una mejor distribución del aire se utilizan **8 aerotermos**:

$$20,2 \text{ kW} \times 8 = 161,6 \text{ kW}$$

$$4.200 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 = 33.600 \text{ m}^3/\text{h}$$

El coste de la instalación (sin incluir la caldera de gas natural) es de 10.500 €, lo que supone un coste de **13,1 €/m<sup>2</sup>**.

El funcionamiento del sistema de calefacción es de 1.500 horas<sup>8</sup>, con lo que el consumo anual del sistema es de 51.376 kWh/año, lo que supone un coste de 2.055 €.

### 3.3 Ventiladores desestratificadores

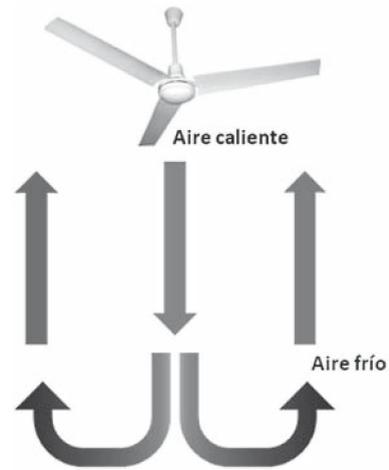
Las naves industriales son un ejemplo habitual de estratificación del aire: el aire caliente (que ha consumido energía de los sistemas de calefacción) se eleva a la parte superior del edificio, donde se pierde el exceso de calor a través de la cubierta. Este efecto es especialmente significativo en sistemas de calefacción con aire, como los aerotermos.

---

<sup>8</sup> Las condiciones son las mismas que en el ejemplo de calderas: 2048 grados-día base 15, y temperaturas de diseño de 18 y -5 °C.

Los ventiladores desestratificadores impulsan este aire caliente a la zona de trabajo a nivel de suelo, rompiendo la estratificación. Diseñados adecuadamente, estos sistemas pueden ahorrar hasta el 20% - 30% del consumo energético, con períodos de retorno de la inversión muy cortos.

Los desestratificadores funcionan con sistemas de control termostático que activan el ventilador en función de la temperatura de la zona superior de la nave. Del mismo modo, se pueden acoplar sistemas de variación de frecuencia que regulen la velocidad de los ventiladores.



*Esquema de funcionamiento de un ventilador desestratificador*

### 3.3.1 Aplicación

Los desestratificadores se suelen utilizar en locales o naves con alturas superiores a 5 metros. **No se utilizan en combinación con sistemas de calor radiante**, ya que la diferencia de temperatura de la zona alta de la nave con respecto a la zona de trabajo es muy baja. Sin embargo, son equipos habitualmente necesarios para mejorar la eficiencia de aerotermos.

### 3.3.2 Características de un desestratificador

El desestratificador se elegirá en función de las siguientes características, que debe proporcionar el suministrador:

- Revoluciones/minuto.
- Caudal de aire que mueve (en m<sup>3</sup>/h)
- Potencia del motor.
- Altura de instalación.
- Zona de influencia (m<sup>2</sup>)
- Nivel sonoro (dB)

### 3.3.3 Criterios de selección

La siguiente tabla muestra los criterios de selección y de instalación de ventiladores desestratificadores.

Tipo de calefacción	Calefacción por aire caliente.
Altura de montaje	La máxima posible desde el nivel de planta. Son eficientes a partir de 5 metros de altura.
Ruido	Normalmente no suele ser un problema en naves industriales. En su caso, los ventiladores de baja velocidad son más silenciosos que los de alta velocidad.
Controles	Encender sólo con calefacción. Controlar en función de la temperatura del techo. Instalar los controles a nivel de planta. Incluir sistemas de variación de frecuencia. Ver la posibilidad de utilizarlo en meses calurosos como sistema de ventilación.

### 3.3.4 Ejemplos

En la nave del ejemplo del apartado de los aerotermos se parte de una demanda de 127,6 kW. La utilización de desestratificadores reduce el gradiente de temperatura de 2,2 a 0,3 °C/m. La demanda se reduce entonces a 108,1 kW. Para el cálculo se incrementa en un 10% por pérdidas de carga en la distribución.

Potencia de cálculo: **118,9 kW**

Se instalan dos ventiladores desestratificadores en techo de 120 W de potencia cada uno, con un volumen de desplazamiento de 44.200 m<sup>3</sup>/h y una superficie cubierta de 350 m<sup>2</sup>, lo que hace una capacidad máxima de desplazamiento de 88.400 m<sup>3</sup>/h y una superficie cubierta de 700 m<sup>2</sup>. El coste de instalación de los dos ventiladores es de 1.000 €.

Para un funcionamiento de 3.000 horas el nuevo consumo de calefacción es de 87.018 kWh anuales, lo que supone un ahorro de 15.735 kWh en combustible, con un consumo de 480 kWh eléctricos. Esto supone un ahorro de 581 € anuales, con lo que la inversión está amortizada en el segundo año.

### 3.4 Calor radiante

Los emisores de calor radiante transmiten el calor por radiación en forma de ondas infrarrojas que calientan directamente los objetos, el suelo, paredes y a las personas, y por lo tanto ofrecen un confort térmico inmediato, con una sensación térmica equivalentes a las que se tendrían con temperaturas del aire sensiblemente más bajas que con otros sistemas por aire caliente.

Básicamente un emisor de calor radiante se compone de un quemador de gas atmosférico que produce una llama larga que se extiende por el interior de un tubo negro, alcanzando temperaturas del orden de 600 °C en el interior y 350 a 400 °C en el exterior. La radiación calorífica producida por el calentamiento del tubo se dirige hacia la zona que se quiere calentar directamente y a través de una pantalla reflectora que refleja las radiaciones infrarrojas, cubriendo un área irradiada en el suelo que depende de la potencia del calefactor y de la altura de instalación.

Los emisores de calor radiante funcionan habitualmente con combustible gaseoso (gas natural, propano, butano), aunque también existen tubos radiantes eléctricos.

Los tubos de calor radiante se montan habitualmente en el techo, y su mayor eficiencia la consiguen con alturas de montaje superiores a los 3 metros de altura.

Existen distintos tipos de emisores de calor radiante:

- **Tubos radiantes simples:** consisten en un tubo con un quemador (entre 13 y 50 kW de potencia) y un ventilador. Pueden ser lineales o en forma de U.
- **Tubos radiantes múltiples:** consisten en un conjunto de tubos radiantes conectados, cada uno con su propio quemador, pero con un tubo de combustión común.
- **Tubos radiantes continuos:** tubo radiante largo, con varios quemadores a lo largo de su extensión y un ventilador de combustión común. El sistema de quemadores múltiples asegura que la temperatura de trabajo del tubo se mantiene en toda su longitud, que puede superar los 100 metros. El tubo puede estar doblado en el plano horizontal para ajustarse a la geometría del local.
- **Placas radiantes:** la emisión radiante se genera por medio de una llama que se aplica a una matriz catalítica. Esta placa puede llegar a alcanzar temperaturas de 950 °C. Las placas radiantes tienen una potencia entre 8 y 40 kW, y pueden estar suspendidas o adosadas en paredes o muros.

- **Calentadores cónicos:** la emisión radiante se genera al igual que en las placas radiantes, y tienen un reflector simétrico en forma de cono. Suelen ser de baja potencia (de 6 a 12 kW) y su disposición es suspendida del techo.

Las características de los diversos sistemas se muestran en la siguiente tabla:

	Tubos radiantes	Placas radiantes	Calentadores cónicos
Potencia calorífica	Media	Alta	Media
Ventajas	Combustión aislada. Ideal para ambientes con polvo u otras partículas en suspensión.	Emisión calorífica muy concentrada.	Compactos y ligeros.
Inconvenientes	Instalación más compleja.	Mantenimiento muy costoso en ambientes con partículas en suspensión.	Mantenimiento muy costoso en ambientes con partículas en suspensión.
Distancia de separación de material combustible bajo el calentador	1,6 – 2,3 m	2,2 – 2,6 m	1,0 – 1,3 m
Aplicación	Calentamiento general de locales y naves.	Calentamiento de zonas concretas.	Calentamiento de zonas concretas.

Los emisores radiantes se pueden controlar con sondas de bulbo negro. Estos termostatos miden directamente el calor recibido del emisor, no la temperatura ambiente del aire, lo que permite una correcta regulación del calor radiante.

Los tubos o placas radiantes permiten un suministro rápido de calor, comparado con otro tipo de sistemas de calefacción (por ejemplo, aerotermos o convectores). Esto permite retrasar las horas de encendido de los sistemas de calefacción. Del mismo modo, son sistemas ideales en instalaciones de uso esporádico, que requieran un calentamiento rápido.

En naves donde existe mucha renovación de aire con el exterior, o donde las puertas o ventanas se abren frecuentemente, el calor radiante es una buena solución, ya que no calienta directamente el aire. Por la misma razón, se pueden utilizar en locales donde se requiere una ventilación muy controlada, ya que no generan corrientes de aire.

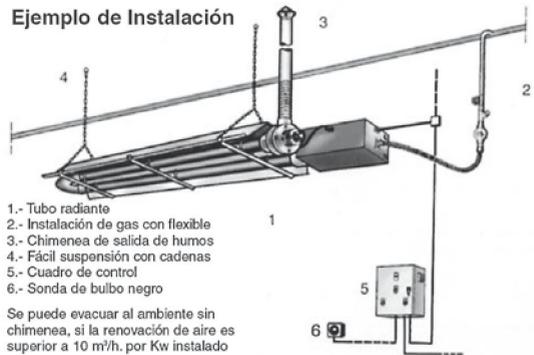
En combinación con otros elementos de calefacción, el calor radiante permite disminuir la temperatura del aire, manteniendo una sensación térmica de confort (el descenso de 1°C supone ahorros energéticos entre el 5 y el 7%). La sensación térmica es la suma de la temperatura del aire (convección) y la temperatura de radiación, de acuerdo con esta expresión:

$$T_{\text{trabajo}} = T_{\text{aire}} + T_{\text{rad}}/2$$

Un aumento en la temperatura de radiación que se recibe permitirá disminuir la temperatura del aire manteniendo la misma sensación térmica:

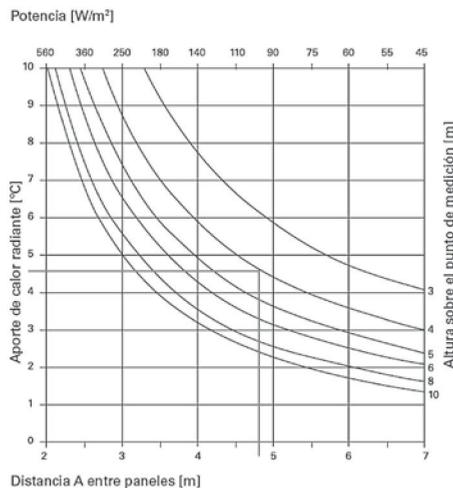
$$T_{\text{aire}} = T_{\text{trabajo}} - T_{\text{rad}}/2$$

Por ejemplo, sea una nave de 6 metros de altura, con emisores radiantes de 4,5 kW. La distancia entre emisores es de 4,5 m. La temperatura de radiación a 1,5 metros del suelo se puede extraer de la gráfica característica del emisor:



Cortesía de TECNA

**Aporte de calor radiante para un emisor de 4,5 kW**



Fuente: FRICO

El aporte de calor radiante es de 4,5 grados. De acuerdo con la ecuación, para una temperatura de trabajo de 18 °C:

$$T_{\text{aire}} = T_{\text{trabajo}} - T_{\text{rad}}/2 = 18 - 4,5/2 = 15,75 \text{ °C}$$

La temperatura de trabajo se puede reducir en más de 2 grados, con lo que esto supone de ahorro energético (las pérdidas por transmisión en la envolvente son también menores al ser menor la temperatura del aire)

Al ser un tipo de calor orientado, se puede aplicar a naves donde existan distintas zonas de trabajo que requieran distintas temperaturas. Por ejemplo, naves donde existe separación entre zonas de trabajo continuo (con necesidad de calefacción permanente), zona de maquinaria (sin necesidad de calefacción) y zonas de almacén (con necesidades intermitentes de calefacción)

El calor radiante no da lugar a estratificación de las temperaturas. El calor se genera no en el emisor, sino cuando la emisión infrarroja alcanza las superficies del suelo, paredes, máquinas, etc. Estas superficies contribuyen a su vez a calentar la zona de trabajo, por lo que las diferencias de temperatura entre el suelo y el techo son mínimas. El gradiente de temperatura entre techo y suelo para sistemas de calor radiante es de un incremento de 0,3 °C/m, frente a valores en torno a 2 °C para calefactores de aire o radiadores convencionales. Esto hace que estos sistemas estén especialmente indicados en naves con techos altos (por encima de 5 - 6 metros).

Los emisores de calor radiante deben estar en “línea de vista” directamente la zona que se quiere calentar. Cualquier obstáculo entre el emisor radiante impediría el calentamiento. Hay que tener en cuenta asimismo que el calor radiante no es válido en aquellas naves donde existan productos químicos corrosivos en la atmósfera.

A la hora de instalar un sistema de calor radiante, se deben verificar los siguientes puntos:

- Tipo de combustible que se va a utilizar: gas natural, GLP, electricidad.
- Lugares de trabajo de los operarios en la nave.
- Definición de qué zonas de la nave se deben calentar, y cuál es la temperatura que se desea alcanzar según el tipo de trabajo realizado.
- Número de emisores necesarios (definidos en función de la altura de instalación y la superficie de la nave)
- Distancias entre emisores y material combustible.
- Nivel de ruido (los procesos de combustión generan ruido que hay que tener en cuenta)

- Salidas de los gases de combustión.
- Entradas de aire a los quemadores en caso de atmósferas con partículas en suspensión.

### 3.4.1 Cálculo del sistema

Para calcular los emisores radiantes necesarios en una nave es necesario saber en primer lugar la demanda calorífica de la nave. Una vez conocido este dato, se calcula el número de paneles radiantes necesario.

Una estimación aproximada se puede realizar con la fórmula:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de emisores} = \frac{\text{Área de la nave (m}^2\text{)}}{\text{Altura de instalación(m)}^2}$$

La potencia de cada uno de los emisores se calcula a partir de la demanda calculada.

En caso de emisores suspendidos o en posición mural, la distancia entre emisores no debe ser superior a la distancia entre el emisor y el suelo. En zonas de uso ocasional, estas distancias se pueden aumentar. El cálculo de la aportación de los emisores depende de las zonas y las características del trabajo.

### 3.4.2 Ejemplo

Se va a considerar la misma nave en la que se han realizado los cálculos de los aerotermos. Se parte de una demanda de 105 kW. Sin embargo, la instalación de paneles radiantes permite bajar la temperatura del aire en 2 °C, ya que el resto de calor se aporta en forma de radiación. Las temperaturas de diseño son, en este caso, 16 y -5 °C. Con estos valores, la demanda de la nave se reduce a 96 kW. Incluyendo el efecto de un gradiente de temperatura de 0,3 °C/m, la demanda final es de 100,2 kW. Se instalan paneles radiantes a gas natural a 7 metros de altura y con un rendimiento del 90%, con lo que la potencia final de cálculo es:

Potencia de cálculo: 111,3 kW.

El área de la nave es de 800 m<sup>2</sup>, y la instalación está a 7 metros de altura, por lo que el número mínimo de emisores es:

$$N^{\circ} \text{ mínimo de emisores} = \frac{\text{Área de la nave (m}^2\text{)}}{\text{Altura de instalación(m)}^2} = \frac{800 \text{ m}^2}{(7 \text{ m})^2} = 16,3$$

La demanda se cubre con 20 paneles radiantes FRICO IR 6000 de 6 kW, alimentados con gas natural.

Para un funcionamiento de 2.000 horas, el consumo de calefacción es de 81.456 kWh anuales. Esto supone un coste de 3.258 € anuales.

La siguiente tabla compara las soluciones de los paneles radiantes con la calefacción por aerotermos y aerotermos con desestratificadores, para una misma nave de 800 m<sup>2</sup> y 8 metros de altura, y un funcionamiento de 2.000 horas:

	Aerotermos	Aerotermos con desestratificadores	Paneles radiantes
Temperatura interior de diseño (°C)	18	18	16
Temperatura exterior de diseño (°C)	-5	-5	-5
Gradiente de temperatura	2,2	0,3	0,3
Demanda de potencia	140,4	118,9	111,3
Consumo anual (kWh)	102.753 (gas)	87.018 (gas) + 480 (electricidad)	81.456 (gas)
Consumo anual (€)	4.110	3.529	3.258

## 3.5 Sistemas de ventilación

Aparte de la eliminación de olores y de la renovación del aire de las naves, la ventilación es útil para mejorar el confort térmico durante los meses calurosos, o para refrigerar la nave de forma gratuita (*free cooling*) cuando la temperatura del aire exterior es inferior a la del interior. Este tipo de refrigeración requiere un movimiento de aire muy superior al que se realiza en invierno. La ventilación nocturna se puede usar asimismo para enfriar la masa del edificio, de manera que pueda absorber el exceso de calor durante el día.

### 3.5.1 Ventilación natural

La ventilación natural consiste en mover y renovar el aire en un edificio utilizando sólo las fuerzas naturales: velocidad del viento y efectos de convección o termosifón. El ejemplo más simple de la ventilación natural es la apertura de ventanas o puertas al exterior.

Evidentemente la ventilación natural supone un bajo coste de operación frente a otras soluciones, aunque también es cierto que no es aplicable en situaciones que requieran movimientos o vías de aire complejas, ya que las presiones de este sistema son bajas.

Incluso en el caso de que la temperatura exterior sea superior a la interior, el efecto de la velocidad del aire puede contribuir a reducir la temperatura efectiva (ver capítulo de climatización adiabática). La refrigeración nocturna es una buena estrategia para mejorar la ventilación natural, ya que permite reducir hasta en 2 - 3 °C las máximas de temperatura en el interior durante el día. La refrigeración nocturna sirve también para disipar el calor absorbido durante el día en paredes y masas con inercia térmica de la nave.

Los sistemas de ventilación natural pueden ser de varios tipos:

- Ventanas practicables.
- Respiraderos motorizados.
- Refrigeración nocturna.

En cualquier caso, la ventilación natural depende fundamentalmente de fuerzas naturales (velocidad del viento, temperatura exterior, fenómenos de convección, diferencias en masas de aire), por lo que no es tan controlable como la ventilación mecánica. En muchos casos nos encontraremos en la necesidad de utilizar ventiladores para refrigerar la nave a la temperatura deseada.

#### **Valoración de la ventilación natural:**

- Los costes son inferiores a los de los sistemas de ventilación mecánica o aire acondicionado. Sin embargo, el diseño de la envolvente de la nave debe asegurar que ésta tiene buenas características térmicas.
- El consumo energético es bajo, así como las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- El rendimiento energético es bajo. La carga térmica en la nave debe ser inferior a 40 W/m<sup>2</sup>.
- Los sistemas de ventilación natural no ocupan mucho espacio en la nave.
- La refrigeración nocturna puede reducir de 2 a 3 °C el máximo de temperatura interior en verano.
- La calidad del aire interior va a depender mucho de la calidad del ambiente exterior. Hay que tener en cuenta la posible contaminación del aire (en naves situadas en polígonos industriales, por ejemplo). El ruido puede ser también un problema en determinado tipo de actividad industrial (tanto el que entra a la nave, como el que se puede emitir de la nave al exterior a través de los conductos de ventilación)
- En los meses fríos se pueden producir conflictos entre la necesidad de renovación del aire y la excesiva refrigeración de la nave.

- La existencia de obstáculos en las líneas de flujo del aire pueden limitar la eficiencia de la ventilación natural.
- La respuesta de los sistemas es poco controlable, al depender de fuerzas naturales.

### **3.5.2 Ventilación mecánica**

Los sistemas de ventilación mecánica utilizan ventiladores para introducir o extraer aire del edificio. Se puede mantener así un mejor control de la temperatura específica que con los sistemas de ventilación natural.

Los sistemas de ventilación mecánica pueden ser:

- Sólo extracción.
- Sólo impulsión.
- Mixto impulsión-extracción.

Además de ser un sistema más controlable, la ventilación mecánica se puede combinar con otros sistemas, como recuperadores de calor, filtros o humidificadores.

Una posibilidad de mejorar la eficiencia de la ventilación mecánica es haciendo pasar el aire de ventilación a través de la envolvente de la nave. De esta manera se utiliza la masa del edificio como sistema de almacenamiento térmico, lo que permite:

- En verano, se enfría la estructura con el aire frío que proporciona la ventilación nocturna. La masa de la nave funcionará como un sumidero que durante las primeras horas del día absorberá energía del aire de ventilación, reduciendo su temperatura con la que entra del exterior antes de llegar a la zona de trabajo.
- En invierno, y en naves donde haya equipos que produzcan importantes aportes térmicos, se pueden hacer pasar los conductos de ventilación por la envolvente cercana a estos equipos. El calentamiento de la masa de la envolvente interior se transferirá al aire de ventilación, calentándolo antes de que éste llegue a la zona de trabajo.

#### **Valoración de la ventilación mecánica:**

- Los costes son superiores a los de la ventilación natural, debido a la necesidad de equipamiento y conducciones.
- El consumo energético también se incrementa, debido al consumo eléctrico de ventiladores. La emisión de CO<sub>2</sub> es superior a la de los sistemas de venti-

lación natural. Se puede reducir el consumo haciendo funcionar el sistema en modo mixto: utilizar la ventilación mecánica en invierno, y ventilación natural en verano, combinada con refrigeración nocturna en modo mecánico.

- Los sistemas de ventilación mecánica permiten la incorporación de equipos de recuperación de calor.
- Su funcionamiento es perfectamente controlable, y no depende de aspectos como la velocidad del viento exterior.
- Puede permitir el control de la humedad del aire.
- Reduce la entrada o salida de ruidos o contaminación, provista de los filtros adecuados.
- Requiere de un óptimo diseño del sistema de distribución de aire para una eficiencia óptima en el consumo de los ventiladores. Este consumo se puede ver reducido aún más con la utilización de variadores de frecuencia.

### 3.6 Sistemas de aire acondicionado

Los equipos de aire acondicionado convencionales se basan en la refrigeración por compresión de vapor: los fluidos sometidos a presión a una determinada temperatura se enfrían cuando se expanden. Si el cambio de presión es suficientemente grande, el gas comprimido alcanzará mayor temperatura que la fuente de refrigeración (el aire exterior, por ejemplo), y el gas expandido estará más frío que la temperatura de refrigeración de consigna. El fluido se usa entonces para refrigerar un espacio determinado, y se elimina el calor al exterior.

No es habitual la instalación de sistemas de aire acondicionado en naves industriales. Antes de plantear la instalación de este tipo de sistemas es conveniente agotar todas las posibilidades de reducción de la demanda de frío. Entre otras, se pueden adoptar las siguientes medidas:

- Utilización de una envolvente con buenas propiedades de aislamiento térmico. La cubierta es una de las zonas por las que se absorbe un gran porcentaje de calor en verano. Un buen aislamiento en las cubiertas reducirá esta ganancia de calor y disminuirá la demanda en refrigeración.
- La utilización de sistemas de ventilación, natural o mecánica, permite que le aire fluya y:
  - disminuya la sensación térmica,
  - se reduzca la temperatura del interior de la nave si la temperatura exterior es inferior a ésta.

- Reducir la carga calorífica de la nave con mecanismos de refrigeración nocturna o refrigeración gratuita cuando no esté siendo utilizada.
- Instalación de equipos y máquinas eficientes, que generan poco calor.
- Zonificación: separación de las zonas de trabajo en función de las condiciones necesarias. Esto permite optimizar las necesidades de climatización de cada una de las zonas.

Un vez minimizada la demanda de frío, no es habitual la necesidad de equipos que refrigeren todo el volumen de la nave (salvo en casos de requisitos específicos del proceso productivo), sino que la demanda se enfocará a zonas puntuales de trabajo. Para ello los sistemas que se pueden instalar son los siguientes.

### **Sistemas de refrigeración individuales**

Se caracterizan por tener integradas todas sus funciones en una sola unidad: ventilador, batería de refrigeración, compresor, etc. Una variedad de estos equipos son los de tipo partido (*split*), que tienen separados sus componentes en dos unidades: una en el interior del edificio con la batería de refrigeración y el ventilador, y otra unidad en el exterior que incluye el compresor y el condensador.

Estos equipos se utilizan para refrigerar zonas muy localizadas en la nave.

### **Sistemas de refrigeración centrales**

La refrigeración se obtiene a partir de una única planta enfriadora colocada normalmente en la cubierta de la nave. La refrigeración puede ser por agua o por aire, aunque en naves industriales el intercambio de calor se suele realizar con sistemas aire - aire (roof-top). El frío se distribuye por medio de circuitos (de aire en este caso) a cada uno de las unidades terminales situadas en las zonas que se van a refrigerar. Este sistema puede ser utilizado para la refrigeración gratuita (free-cooling): consistiría en la distribución de aire del exterior (cuando éste sea más frío que el del interior de la nave) por el sistema de conductos sin hacer funcionar los compresores del roof-top.

Uno de los parámetros que define los sistemas de refrigeración es el coeficiente de rendimiento (COP - Coefficient of Performance). El COP se define como la refrigeración generada en kWh, dividida entre el aporte energético al sistema (ambos en las mismas unidades kW, cal/h, etc.). En este tipo de sistemas, el COP suele estar entre 2,5 y 4.

Otro aspecto que hay que considerar es la utilización de la tecnología inverter en las enfriadoras. En lugar de un equipo con velocidad única, que se enciende y se apaga en función de las fluctuaciones de temperatura, la tecnología inverter

permite variar la potencia del compresor, disminuyéndola cuando la temperatura de la nave se acerca a la de consigna, reduciéndose el ruido y el consumo.

### 3.6.1 Cálculo

El método de cálculo de la demanda de refrigeración se detalla en el capítulo de la determinación de cálculo de cargas. Es importante determinar si la demanda de refrigeración es debida a confort de los trabajadores o necesidades del proceso, para poder localizar en su lugar preciso los equipos necesarios.

### 3.6.2 Ejemplo

La demanda de refrigeración de una nave industrial es de 70 kW. Para su refrigeración se elige un equipo compacto aire - aire de cubierta (roof top). El equipo elegido es un CIAT RPF-320 de sólo refrigeración, con una potencia frigorífica de 74,4 kW y un COP de 3,0. Se comparan dos versiones:

- Equipo sin sistema *free-cooling* 10.205 €
- Equipo que incluye *free-cooling* con ventilador de retorno centrífugo 13.254 €

Los costes de instalación, sistemas accesorios y de distribución son los mismos en ambos casos.

El sistema de *free-cooling* permite refrigerar la nave a primeras horas de la mañana, con lo que se ahorra la mitad del tiempo de funcionamiento de los compresores. El ventilador centrífugo tiene una potencia de 4 kW.

Los consumos se calculan para un funcionamiento del equipo de 1.500 horas con temperaturas de diseño de refrigeración de 33 y 23 °C, y 1.855 grados-día de refrigeración.

$$E_{\text{consumida}} = \frac{P \cdot GD \cdot h_{\text{funcionamiento}}}{(T_i - T_e) \cdot COP \cdot 365} + P \cdot h_{\text{funcionamiento FC}}$$

Donde:

P es la potencia frigorífica del equipo en kW

GD son los grados día de refrigeración base 18.

$h_{\text{funcionamiento}}$  son las horas de funcionamiento del equipo con el sistema de compresión.

$h_{\text{funcionamiento FC}}$  son las horas de funcionamiento del equipo en modo *free-cooling*.

Consumo para el equipo sin *free-cooling*: **18.905 kWh**

Consumo para el equipo con *free-cooling*: **12.466 kWh**

El sistema de *free-cooling* permite ahorrar 6.439 kWh anuales, que al coste de 0,1 €/kWh suponen 644 €. El sobre coste del equipo con *free-cooling* quedaría amortizado en menos de 5 años.

### **3.7 Bombas de calor geotérmicas**

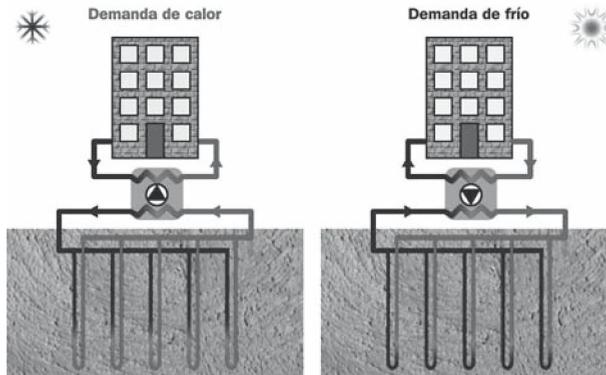
En las bombas de calor el proceso de refrigeración se puede invertir, y son capaces de suministrar calor en invierno. El calor se extrae del aire exterior e incluso del calor latente del vapor de agua del aire. El aire exterior pasa a través de un intercambiador de calor que lo utiliza para evaporar un refrigerante y lo impulsa al exterior. El refrigerante atraviesa un compresor y posteriormente un condensador, donde cede el calor absorbido, que se utilizará para calentar los espacios de la nave.

Una bomba de calor típica tiene un COP de entre 2 y 6, dependiendo de la diferencia entre las temperaturas de los focos frío y caliente. Sin embargo, en zonas donde las condiciones climáticas invernales son especialmente adversas o cuando la temperatura exterior es muy baja (como muchas zonas de la Comunidad Autónoma de Castilla y León), puede tener dificultades para aportar todo el calor necesario y requerirá sistemas de apoyo, con un coste de funcionamiento muy superior.

Una manera de evitar este inconveniente es realizar el intercambio de calor en el subsuelo, donde el rango de temperaturas es mucho menos extremo y más uniforme.

Una bomba de calor geotérmica es aquella que utiliza el subsuelo como fuente de calor, funcionando a modo de calefacción, o como disipador de calor, y entonces trabaja en modo de refrigeración. Las aplicaciones se basan en la temperatura natural del subsuelo. La bomba de calor geotérmica extrae calor del subsuelo en invierno e inyecta calor en el subsuelo en verano.

Para el intercambio de energía térmica se conecta la bomba de calor con el subsuelo. La conexión más común es un bucle cerrado, existiendo tubos en forma de “U” de polietileno de alta densidad insertados en perforaciones de 50 a 200 metros de profundidad. El principio de funcionamiento se muestra en la figura inferior.



Esquema básico de un sistema cerrado con bomba de calor geotérmica (cortesía de IFTEC)

Un diseño menos común es el uso del agua de un acuífero (a menudo llamado sistema abierto). Uno o varios pozos de captación suministran el agua necesaria para el funcionamiento de la bomba de calor geotérmica, un número similar de pozos se utilizan para inyectar el agua de nuevo al acuífero.

La circulación del agua siempre es del pozo de captación al pozo de inyección, tanto en modo calefacción como en modo refrigeración. El principio de funcionamiento se muestra en la figura inferior. El agua que se extrae desde el pozo de extracción tiene la temperatura natural del acuífero y funciona como fuente de calor en invierno para la bomba de calor. La extracción de calor descende la temperatura del agua subterránea alrededor del pozo de inyección. En cambio en verano el calor del edificio se disipa al agua subterránea que aumenta la temperatura alrededor del pozo de inyección. Para limitar el impacto térmico en el acuífero y para garantizar un funcionamiento sostenible del sistema, es importante mantener un balance energético anual; dicho de otra forma, hay que mantener equilibrio entre el calor extraído del acuífero y el calor disipado al acuífero.

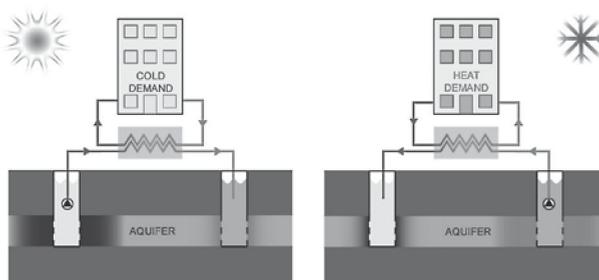


Figura: Principio de un sistema abierto con recirculación (cortesía de IFTEC)

### 3.7.1 Aplicaciones

Como muchos otros sistemas, las bombas de calor geotérmicas no son la mejor alternativa para la climatización de naves si se consideran como opción aislada. El alto valor de eficiencia que tienen en calefacción disminuye con la diferencia de temperatura, por lo que suelen ir combinadas con sistemas de baja temperatura, como los suelos radiantes. Sin embargo, este tipo de calefacción no suele ser muy habitual en naves industriales.

Por el contrario, las necesidades del sistema productivo sí pueden favorecer la utilización de bombas de calor geotérmicas. Por ejemplo, en procesos productivos donde sea necesario calentar a temperatura moderada, la energía geotérmica es una buena opción: secaderos, procesos de deshidratación de vegetales, pasteurización de leche, granjas, invernaderos, etc. En este caso la climatización sería un sistema secundario que aprovecharía y ayudaría a rentabilizar un sistema de generación de calor.

Por otro lado, no hay que olvidar el potencial de almacenamiento térmico de estos sistemas. En muchas ocasiones existen procesos que generan calor que se puede recuperar para calefacción, pero éste se produce en un momento en que la demanda es baja. El calor no aprovechado se puede enviar al subsuelo o al acuífero a través de la bomba de calor, donde queda almacenado (a costa de aumentar la temperatura del subsuelo o el acuífero - muy poco, debido a la gran masa que éstos tienen). Cuando la demanda de calor aumenta, se puede recuperar la energía de nuevo a través de la bomba de calor, y suministrarla a los sistemas de calefacción.



*Intercambiador de placas en un sistema de bomba geotérmica. Cortesía de IFTEC*

Según un estudio de ITT W&W<sup>9</sup>, de su fundición en Emmaboda (Suecia) se van a poder almacenar hasta 3.800 MWh de calor residual de proceso en un sistema de almacenamiento térmico en el subsuelo. Ese exceso de calor se almacenará en verano y se utilizará en invierno para alimentar un sistema de calefacción de distrito, con un aprovechamiento de 2.600 MWh (31,5% de pérdidas). El sistema está acoplado a dos bombas de calor de 600 kW y 400 kW respectivamente, y la temperatura de almacenamiento está entre 40 y 60° C. El sistema de almacenamiento térmico tendrá una potencia media de suministro de 700 kW. Todo el sistema estaría amortizado en 5,5 años con los ahorros energéticos.

### 3.8 Enfriamiento evaporativo. Climatización adiabática

El acondicionamiento adiabático del aire, también llamado enfriamiento evaporativo, imita, de muchas formas, los efectos disipadores de calor que se suelen dar cerca de las grandes extensiones de agua. Es un sistema capaz de climatizar de forma efectiva fábricas, almacenes, oficinas y otros muchos espacios. Al evaporarse el agua, el aire pierde energía y se reduce la temperatura. Existen dos tipos de temperaturas que son importantes en los sistemas de climatización adiabática.

La primera es la *temperatura de bulbo seco*, que corresponde a la temperatura del aire medida mediante un termómetro expuesto a la corriente del aire. El segundo tipo de temperatura del aire, de gran importancia en los sistemas de climatización adiabática, es la *temperatura de bulbo húmedo*, que corresponde a la temperatura más baja que se puede alcanzar mediante la evaporación del agua. Las temperaturas de bulbo seco y húmedo sirven para calcular la humedad relativa.

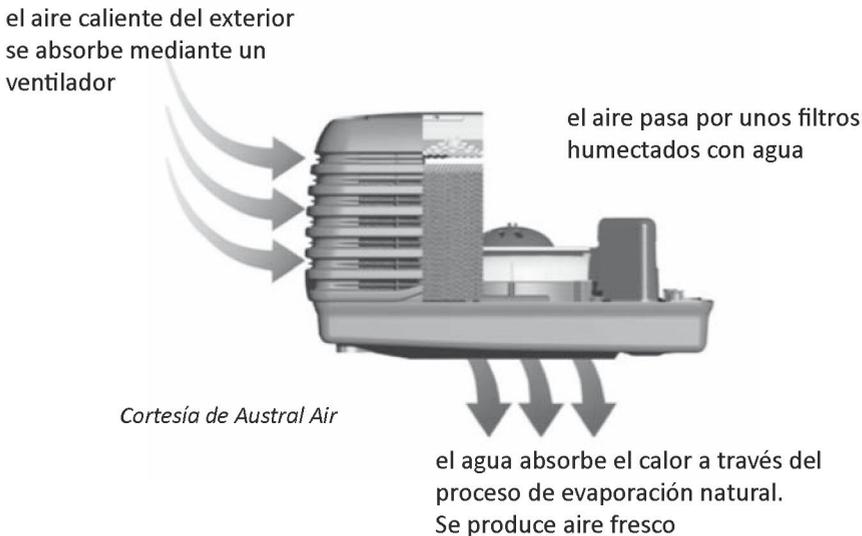
La evaporación se produce cuando la humedad está por debajo del 100% y el aire empieza a absorber agua. Cualquier volumen de aire dado puede contener cierta cantidad de vapor de agua y el grado de absorción dependerá de la cantidad ya existente. El término humedad describe la cantidad de agua que existe en el aire; hace referencia a la cantidad que es capaz de contener. Si contuviera la mitad del agua que es capaz de albergar, estaría saturada al 50%, diríamos que la humedad relativa es del 50%.

---

<sup>9</sup> Efficient usage of waste heat by applying a seasonal energy storage (BTES) at ITT Water & Wastewater AB, Emmaboda, Sweden. O. Andersson, L. Rydell, T. Algotsson. Effstock 2009 - Thermal Energy Storage for Energy Efficiency and Sustainability. 14-17 Junio 2009. Estocolmo (Suecia)

Se necesita energía para cambiar el agua de un estado líquido a vapor. La energía se obtiene a través de un proceso adiabático del propio aire. El aire que entra en un climatizador adiabático cede energía calorífica para evaporar agua. Durante este proceso, se reduce la temperatura de bulbo seco del aire que pasa a través del climatizador.

En un climatizador adiabático, una bomba transporta agua desde el depósito a la parte superior de los filtros de intercambio termodinámico. Los filtros se saturan de agua cuando el agua vuelve descendiendo por gravedad al depósito. Unos potentes ventiladores centrífugos se encargan de absorber el aire caliente del exterior y pasarlo por los filtros humectados. Cuando el aire pasa a través de los filtros, se enfría por medio de la evaporación y, luego, se distribuye por todo el edificio.



Los sistemas de acondicionamiento adiabático no recirculan el aire, ya que esto generaría condiciones de alto nivel térmico y de humedad. El aire procedente de un climatizador adiabático sólo debe utilizarse una vez: debe pasar del climatizador a la zona climatizada y, seguidamente, salir del edificio. El constante movimiento del aire climatizado empuja el calor junto con el aire viciado, el humo, los malos olores y las partículas contaminantes.

El acondicionamiento adiabático del aire es especialmente adecuado para ámbitos comerciales e industriales, donde un acondicionamiento por compresor resulta excesivamente caro. Los climatizadores, de instalación rápida y sencilla,

se colocan en el exterior del edificio, bien en el tejado, en las paredes laterales o en la planta baja. Un sistema de conductos y difusores de aire se encarga de distribuir el aire climatizado allí donde se necesite. Lo más habitual es utilizar conductos metálicos y rígidos prefabricados, pero también cabe la posibilidad de instalar conductos flexibles. Es frecuente también el uso de conductos verticales con plenum de descarga de aire en fábricas y almacenes donde se requiera una climatización zonal.

### ***¿Cuál es la diferencia de temperatura?***

- La temperatura de bulbo seco se mide con un termómetro corriente.
- La temperatura de bulbo húmedo se mide con un termómetro que dispone de un cobertor humectado envuelto sobre el bulbo para que pueda detectar el nivel de evaporación.
- Cuanto más seco esté el aire, menor será la temperatura de bulbo húmedo porque más evaporación podrá producirse en el aire seco.
- La diferencia entre la temperatura de bulbo seco y la temperatura de bulbo húmedo se denomina depresión de bulbo húmedo (DBH / WBD).

Un climatizador adiabático directo es capaz de reducir la temperatura del aire entrante en una cantidad equivalente a la depresión de bulbo húmedo multiplicada por la eficiencia de saturación del climatizador de aire.

Por lo tanto, la temperatura de la descarga de impulsión de aire en un climatizador adiabático directo es:

$$T(\text{aire imp}) = T_{bs}(\text{aire ent}) - [ef(\%) \times (T_{bs}(\text{aire ent}) - T_{bh}(\text{aire ent}))]$$

Donde:

T(aire imp) = temperatura de impulsión del climatizador ( °C)

T(aire ent.) = temperatura de entrada en el climatizador ( °C)

bs= bulbo seco.

bh= bulbo húmedo.

ef= eficiencia de saturación del climatizador.

HR= humedad relativa.

**Ejemplo:**

Aire exterior  $T_{bs}$  (aire ent) aire exterior = 30 °C  
 $T_{bh}$  (aire ent) = 20 °C  
 Humedad relativa = 40%

Si la eficiencia de saturación del climatizador es 80%,

$$T(\text{aire imp}) \text{ es } = 30 - (80\% \times (30-20)) = 30 - (80\% \times 10) = 30 - 8 = 22 \text{ °C}$$

Esto quiere decir que cuanto menor es la humedad relativa, mayor es la diferencia de temperaturas entre bulbo seco y bulbo húmedo y por lo tanto, menor es la temperatura de impulsión del aire frente a la de entrada. Esto tiene una especial relevancia en regiones como la de Castilla y León, donde en verano la humedad relativa oscila entre el 35% y el 60%. La siguiente tabla muestra el rango de temperaturas de impulsión que se pueden conseguir.

Temperatura aire entrada (°C)	Temperatura del aire de impulsión (°C) <sup>10</sup>								
	Humedad relativa								
	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%
10	2,2	3,2	4,2	5,1	6,0	6,8	7,7	8,5	9,2
15	5,6	6,8	8,0	9,1	10,2	11,3	12,2	13,2	14,1
20	8,8	10,4	11,8	13,2	14,5	15,7	16,8	17,9	19,0
25	12,0	13,8	15,6	17,2	18,7	20,1	21,4	22,7	23,9
30	15,0	17,3	19,3	21,2	23,0	24,6	26,1	27,5	28,8
35	18,1	20,7	23,1	25,3	27,2	29,0	30,7	32,2	33,7
40	21,0	24,2	26,9	29,4	31,5	33,5	35,3	37,0	38,6
45	24,0	27,6	30,8	33,5	35,9	38,0	40,0	41,8	43,5

De acuerdo con los diagramas psicrométricos, la mayoría de personas se sienten confortables a una temperatura de entre 22 °C y 29 °C y con una humedad relativa de entre 20% y 70%, siempre que las humedades más elevadas se asocien a las velocidades del aire más altas. La climatización adiabática no puede eliminar la humedad y la temperatura del aire de impulsión no es tan baja, por lo tanto, los caudales de aire son más altos. El confort se consigue reduciendo la temperatura interior e incrementando la cantidad de aire interior en movimiento.

<sup>10</sup> Datos suministrados por Breezair para una altura de 1.000 m sobre el nivel del mar y una eficiencia de saturación del climatizador del 85%

En las aplicaciones comerciales y residenciales la velocidad del aire interior debería estar comprendida entre 0,05 m/seg y 0,25 m/seg, aunque en las aplicaciones industriales la velocidad del aire podría ser mayor.

La tabla demuestra que la velocidad del aire puede disminuir la temperatura efectiva, para una misma temperatura del aire:

Aire (m/s)	Temp. efectiva °C
0,1	23,25
0,5	22,5
1,0	22,0
1,5	21,5
2,0	21,0
2,5	20,0
3,6	19,75

El rendimiento de un sistema de climatización adiabática depende del número correcto de renovaciones de aire. Por este motivo, después de que el aire climatizado recoja el calor interno, debe poder evacuarse del edificio.

El método más efectivo y económico de evacuación es la ventilación natural a través de las puertas y ventanas, aunque es posible utilizar la extracción mecánica, si fuera necesario. La extracción mecánica debe ser diseñada para extraer entre 85% y 90% del caudal total de aire del sistema de acondicionamiento evaporativo del aire. Esto garantiza el mantenimiento de una ligera sobrepresión positiva en el edificio para evitar la entrada de contaminantes externos, otros materiales en suspensión e insectos. Los extractores mecánicos que rebasen el caudal de aire del sistema de acondicionamiento adiabático del aire pueden causar sobrevelocidad y sobrecalentamiento de los motores de ventilación del climatizador.

### 3.8.1 Dimensionamiento de una instalación de climatización adiabática

Al contrario que en la mayoría de las instalaciones de frío o calor, los sistemas de enfriamiento evaporativo no se calculan en función de las cargas térmicas de la nave, sino que se basan en las renovaciones/hora necesarias.

Para ello se sigue el siguiente procedimiento:

1. Se calcula el volumen de la nave en m<sup>3</sup>. Las naves industriales se caracterizan por tener los techos a gran altura, y las necesidades de refrigeración se tienen a nivel del suelo. En estos casos se baja un conducto y un plenum hasta los 3 - 4 metros de altura al suelo, y se evita de esta manera cubicar todo el volumen, reduciendo las necesidades de refrigeración, y por tanto el número de equipos necesarios.

2. Una vez calculado el volumen, este se multiplica por las renovaciones/hora necesarias:

- En lugares muy próximos a la costa, donde hay más humedad, o en actividades con gran aportación térmica se estiman unas 40 ren./hora.
- En lugares secos (casi toda la Comunidad Autónoma de Castilla y León lo es) se realiza el cálculo estimando unas 20 ren./hora.

3. El volumen total resultante se divide por el caudal que aporta cada unidad y esto da el resultado final de equipos a colocar. Como norma general, cada 200 m<sup>3</sup> se utiliza una unidad de climatización.

### 3.8.2 Ejemplo

Sea un taller de mecanizado en la provincia de Valladolid. La nave tiene una superficie de 1.201 m<sup>2</sup> y la actividad no supone una gran aportación térmica. La altura de la cubierta está a 7 metros, por lo que se bajan conductos hasta una altura de 4 metros sobre el suelo.

El volumen que hay que refrigerar es de:  $1.201 \times 4 = 4.816 \text{ m}^3$

Al estar en un clima seco y no tener aporte de calor importante debido al proceso industrial se necesitan 20 renovaciones/hora. El volumen de aire que hay que mover es entonces:

$$V = 20 \text{ ren/hora} \times 4.816 \text{ m}^3 = 96.320 \text{ m}^3/\text{hora}$$

El equipo seleccionado es un TBA 550 de Breezair, con un caudal nominal de 10.800 m<sup>3</sup>/hora.

Número de unidades necesarias:  $96.320 / 10.800 = 8,9$

En principio, con 9 equipos se cubrirían las necesidades de refrigeración de la nave. En este caso se instalaron 11 equipos por requisitos geométricos y de zonificación de actividades en la nave.

El coste de la instalación fue de 98.941 €, lo que supone un coste de **82,4 €/m<sup>2</sup>**.

### 3.9 Calentamiento solar del aire

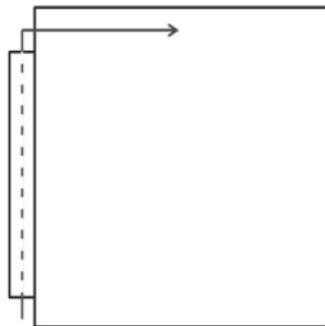
Existe la posibilidad de calentar el aire de ventilación utilizando la energía solar. Los sistemas de calentamiento solar del aire están formados por un colector y un sistema de distribución de aire caliente. La mayoría de los sistemas utilizan ventiladores para distribuir el aire y algunos disponen de elementos de almacenamiento térmico. El aire calentado por la energía solar se utiliza fundamentalmente para calentar espacio en edificios, o bien para precalentar el aire de ventilación. En verano se puede utilizar para calentamiento o precalentamiento de A.C.S.

Normalmente estos sistemas no funcionan como la única fuente energética. Antes al contrario, se suelen utilizar como complementarios a otras instalaciones de climatización, ventilación o aprovechamiento solar, de manera que se reduzca la demanda del edificio gracias a una utilización eficiente de la energía solar (por ejemplo, redistribuyendo el calor, enviándolo a zonas con orientación norte donde no se pueden beneficiar de la radiación solar)

El movimiento del aire se realiza utilizando ventiladores. Sin embargo, también se puede llevar a cabo utilizando los propios mecanismos de convección del aire (termosifón).

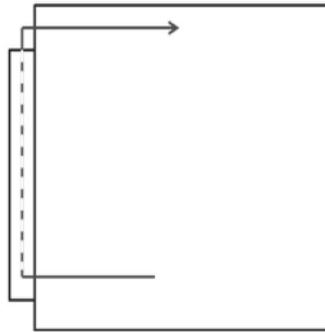
Existen diversos sistemas de calentamiento solar del aire:

- **Calentamiento directo.** El aire exterior circula a través de un colector y entra directamente en el local. Este sistema puede alcanzar eficiencias muy altas ya que el aire que se suministra al colector suele ser relativamente frío. En verano la salida del colector se dirige directamente al exterior. Este es el sistema más utilizado y sus aplicaciones pueden ir desde casas unifamiliares a grandes naves industriales.



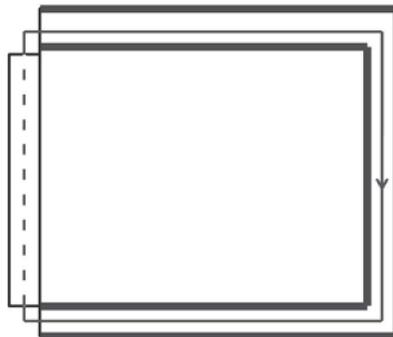
Esquema de calentamiento directo

- **Calentamiento por circuito cerrado.** En este sistema el aire del local entra en el colector, se calienta y es introducido de nuevo en el local. Esta entrada se puede realizar a través de un techo con alta inercia térmica, de manera que se puede proporcionar calentamiento por radiación una vez que se ha puesto el sol. El movimiento del aire se puede realizar por termosifón o ayudado por ventiladores.



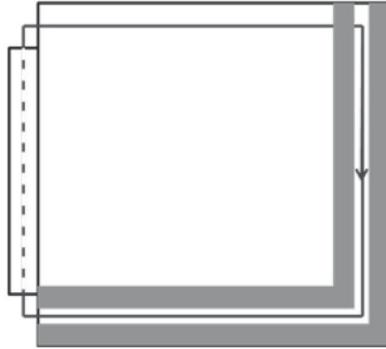
*Esquema de calentamiento por circuito cerrado*

- **Calentamiento a través de cámara.** El aire caliente procedente del colector circula por una cámara entre la fachada exterior del edificio y el muro interior. Esto reduce las pérdidas energéticas a través de la envolvente. La eficiencia de este sistema se basa en que por pequeña que sea la aportación solar, esta contribuye a reducir las pérdidas. Este sistema es indicado para rehabilitación de edificios con un mal aislamiento.



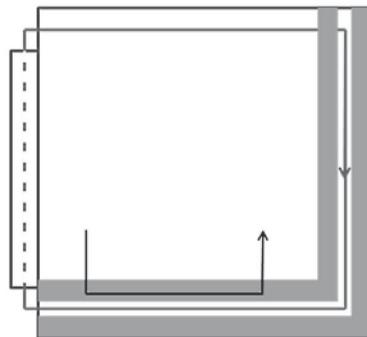
*Esquema de calentamiento a través de cámara*

- **Calentamiento con almacenamiento térmico.** En este caso, el aire caliente procedente del colector circula por canales internos en el hormigón de soleras o fachadas. El calor se irradia hacia el interior del local con un retraso de cuatro a seis horas. Este sistema posee la ventaja de utilizar superficies extensas como elementos radiantes, lo que mejora el confort térmico. La mejor eficiencia se obtiene cuando se favorece la circulación del aire con ventiladores.



Esquema de calentamiento con almacenamiento térmico

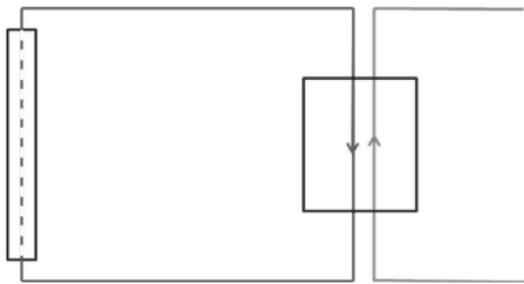
- **Calentamiento con doble circuito.** Al igual que en el sistema anterior, se calienta un muro o un elemento constructivo con inercia térmica. En este caso sin embargo se favorece la descarga del calor acumulado haciendo circular aire a través de él. El sistema de almacenamiento está aislado de manera que el calor se puede almacenar durante un período de tiempo más prolongado y se pueda liberar cuando realmente se necesite. En ocasiones el sistema de almacenamiento puede no formar parte de la estructura constructiva y estar separado de la nave (por ejemplo, un depósito de rocas, grava u otro material de gran inercia térmica). Estos sistemas son costosos, ya que requieren dos circuitos de aire.



Esquema de calentamiento con doble circuito

Una posibilidad novedosa de almacenamiento térmico es por medio de materiales de cambio de fase (PCM - *Phase Change Materials*). Estos materiales almacenan la energía en forma de calor latente de cambio de fase. Cuando pasa el aire caliente, el material cambia de fase pasando del estado sólido a líquido, almacenando una gran cantidad de energía sin modificar su temperatura. Una vez en estado líquido, el almacenamiento se produce en forma de calor sensible, y la temperatura del material aumenta. En el ciclo opuesto, cuando la temperatura desciende, el PCM reduce su temperatura hasta llegar a la temperatura de cambio de fase de líquido a sólido, donde aporta una gran cantidad de energía en forma de calor latente, es decir, sin modificar su temperatura. Si se ajusta la temperatura de cambio de fase a la temperatura de confort de local, estos sistemas proporcionan una gran inercia térmica, manteniendo la temperatura muy constante en torno a la temperatura de confort.

- **Calentamiento con intercambiador y circuito de agua.** Estamos ante otro sistema de doble circuito. Aquí se combina el colector de aire caliente con un sistema de distribución de calor por agua. De esta manera, se pueden incorporar sistemas de radiadores convencionales, suelo radiante o la propia red de ACS. Se suelen utilizar cuando es necesario desplazar el calor una determinada distancia.



Esquema de calentamiento con intercambiador y circuito de agua

### 3.9.1 Características de las instalaciones solares de calefacción por aire en comparación de las de agua

La primera y principal diferencia entre ambos sistemas radica en la sustancia que hace de fluido transportador de calor y sus diferentes propiedades físicas.

El agua presenta ciertas ventajas en cuanto a su capacidad para transportar calor. Su calor específico es de 1 cal/gr frente a la del aire que es de 0.24 cal/gr, por lo que puede llevar hasta 5 veces más calor por unidad de masas que el aire.

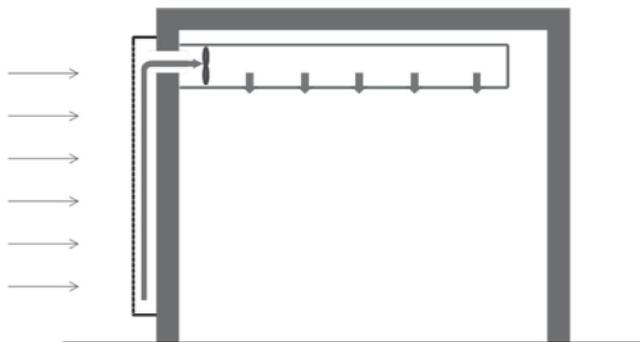
Por otro lado la densidad del agua es también mayor que la del aire ( $1000 \text{ kg/m}^3$  frente a los  $1,225 \text{ kg/m}^3$ ). De acuerdo con estos datos, significa que necesitaremos aproximadamente 3.400 veces más volumen de aire que de agua para transportar la misma cantidad de calor.

Sin embargo el aire presenta determinadas ventajas con respecto al agua para las instalaciones de calefacción por energía solar:

- No sufre procesos de cambio de fase (congelamiento o ebullición) por lo que se hacen innecesarios determinados dispositivos y estrategias que se adoptan en las instalaciones de agua para evitar sus nocivos efectos.
- Trabaja en circuito abierto con la atmósfera, por lo que no existen problemas de fugas.
- La finalidad de la calefacción es calentar el aire, por lo que resulta mucho más sencillo que el fluido que se hace pasar por los colectores solares sea directamente el aire, por lo que sólo son necesarios los colectores, los conductos y ventiladores.
- Es mucho más sencillo instalar sistemas de calefacción por aire en edificios ya construidos.
- A los colectores de aire caliente no les afecta el exceso de calor, por lo que no es necesario un mantenimiento especial en verano y épocas de demanda nula.

### 3.9.2 Ejemplo

Un ejemplo de un sistema de calefacción por energía solar para una nave industrial puede ser el siguiente:



El sistema está basado en un revestimiento metálico (aluminio o acero) de color oscuro que se instala en la cara sur del edificio. El sistema opera en una manera muy simple:

- El revestimiento metálico se calienta por radiación solar.
- Hay ventiladores localizados en la parte superior de la pared que generan una diferencia de presión negativa en la cámara entre el revestimiento y la pared.
- El aire externo es succionado a través de pequeños agujeros en el panel y se calienta.
- El aire se eleva en la cámara y pasa a un conducto de distribución impulsado por el ventilador.
- El aire del exterior calentado se distribuye por toda la nave a través del conducto.

Este sistema también reduce las pérdidas de calor del edificio, ya que disminuye considerablemente las pérdidas de calor por la fachada sur. Incluso sin sol, la activación de los ventiladores puede recuperar parte del calor que se pierde por la envolvente.

Un sistema como este se ha utilizado en la fachada de una nave industrial en Alemania<sup>11</sup> para precalentar el aire de ventilación. Con un colector metálico de 128 m<sup>2</sup> y una caudal de aire de 4.800 m<sup>3</sup>/h se están obteniendo ahorros energéticos de 51.200 kWh anuales.

### **3.10 Energía solar térmica con agua**

Los sistemas de energía solar térmica captan la energía de la radiación solar mediante un captador o colector por el que circula un fluido, y la transfieren a un sistema para su posterior aprovechamiento para la obtención de agua caliente sanitaria o calefacción.

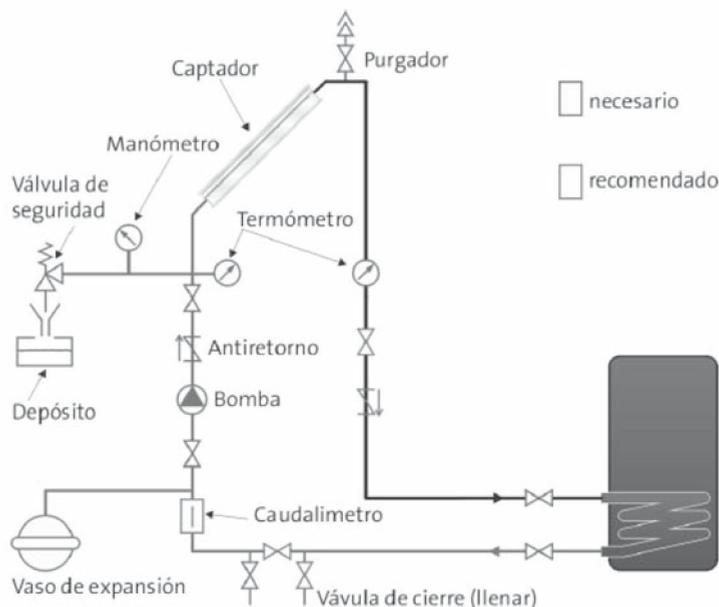
El objetivo de una instalación solar es calentar agua captando la máxima radiación solar. En este sentido la inclinación y la orientación del colector solar, así como las sombras que se puedan proyectar sobre los paneles, son factores claves que determinan un correcto funcionamiento de la instalación.

---

<sup>10</sup> Información cortesía de SolarWall

En las instalaciones solares térmicas se distinguen los siguientes sistemas:

- **Sistema de captación de calor:** formado por los captadores que transforman la radiación solar incidente en energía térmica de forma que se caliente el fluido de trabajo que por ellos circula. Es la parte más importante de la instalación y de su correcto dimensionamiento depende el rendimiento general de la instalación y el buen funcionamiento de la misma.
- **Sistema de acumulación e intercambio de calor:** constituido por un depósito que almacena el agua caliente hasta que se precise su uso y por un intercambiador de calor encargado de realizar la transferencia de la energía térmica captada desde el circuito de captadores al circuito de agua caliente de consumo.
- **Sistema de apoyo** encargado de garantizar la continuidad del suministro de agua caliente en los periodos con escasa radiación solar o en caso de un consumo superior al previsto.
- **Sistema hidráulico** constituido por tuberías, bombas, válvulas, etc. que se encarga de conducir el fluido caliente desde el sistema de captación hasta el sistema de acumulación y desde éste al circuito de consumo.
- **Sistema de regulación y control** que se encarga de asegurar el correcto funcionamiento del equipo.



### 3.10.1 Tipos de captadores solares

Se distinguen tres tipos de captadores solares: planos, sin cubierta y de vacío.

- **Captador solar plano:** diseñado para absorber la energía solar y transmitirla a un fluido portador que circula por su interior. El más utilizado es el captador solar plano con cubierta de vidrio y su uso más generalizado es la producción de agua caliente.

Los elementos de que se compone son:

- Cubierta transparente encargada de retener el calor y de aislar el captador de las condiciones ambientales exteriores.
  - Absorbedor, es el elemento donde se produce la conversión de la radiación solar en energía térmica y está formado por una superficie plana adherida a un circuito hidráulico a través del que circula el fluido caloportador.
  - Aislamiento, cuya misión es reducir las pérdidas térmicas del equipo, normalmente formado por espumas sintéticas como poliuretano o fibra de vidrio.
  - Carcasa
- **Captador sin cubierta:** en estos sistemas el único elemento es el absorbedor lo que repercute en su bajo precio y facilidad de montaje respecto a otros captadores. Normalmente son de polipropileno y son más moldeables a la hora de adaptarlos a cubiertas. Presentan un rendimiento inferior a los captadores solares planos por lo que necesitan una mayor superficie disponible. Su utilización en naves industriales no suele ser recomendable debido al pequeño salto térmico que proporcionan.
  - **Captador solar de vacío:** formado por una serie de tubos de vidrio cada uno de ellos con un elemento absorbedor en su interior donde se ha realizado el vacío de aire. Presentan rendimientos superiores a los captadores solares planos para altas temperaturas de trabajo por lo que son los más utilizados cuando se necesitan importantes saltos térmicos como es el caso de la calefacción, aplicaciones industriales o para generación de frío por absorción. Otra ventaja que presentan es que pueden ser instalados en posición horizontal sobre una cubierta plana debido a que pueden orientarse las láminas que constituyen el elemento absorbedor lo que conlleva menores necesidades de espacio. Como principal desventaja se encuentra su mayor coste económico con relación a los captadores solares planos.

El **rendimiento de un captador solar térmico** se define como el cociente entre la energía térmica útil o extraída por el fluido de trabajo durante un intervalo de tiempo determinado y el producto del área del captador por la irradiación solar que incide sobre él en el mismo intervalo de tiempo. Su valor depende de las pérdidas ópticas y térmicas del captador.

- Las **pérdidas ópticas** representan la fracción de la irradiancia solar no absorbida. Depende de las propiedades transmisivas de la cubierta y de las propiedades absorbentes del absorbedor.
- Las **pérdidas térmicas** dependen de la diferencia de temperatura entre el absorbedor y el ambiente, de la irradiancia incidente y de la conductividad térmica de los materiales que constituyen el captador.

### 3.10.2 Aplicaciones

A continuación se detallan las aplicaciones más comunes de la energía solar térmica en naves industriales:

- **Producción de agua caliente sanitaria:** es la principal aplicación de la energía solar térmica, debido a las bajas temperaturas de preparación y a la homogeneidad de su consumo a lo largo del año.
- **Calefacción:** el principal inconveniente que presenta es que solo existe demanda de calefacción unos meses al año y por tanto el aprovechamiento de la instalación es menor; por otra parte el periodo de calefacción coincide con los meses de menor radiación solar por lo cual el rendimiento de las instalaciones disminuye. En estas instalaciones los emisores deben funcionar a temperaturas más bajas, por debajo de los 60 °C por lo que los tipos de emisores más idóneos son el suelo radiante y los fan-coils. Otra opción es la utilización de colectores de vacío que presentan buenos rendimientos a altas temperaturas, siendo el principal inconveniente el coste de la instalación.
- **Climatización solar:** es una aplicación idónea para estos sistemas debido a que coincide el periodo de demanda con los meses de mayor radiación solar y puede utilizarse la instalación como apoyo a la calefacción durante los meses de invierno. En la climatización solar se utiliza la energía térmica como fuerza motriz para la producción de frío utilizando para ello máquinas de absorción.
- **Energía solar para procesos industriales:** es interesante sobre todo en procesos en los que existe una demanda continua de calor durante todo el año. Ésta es la principal aplicación de la energía solar térmica con agua.

Habitualmente, sólo en el caso en que el proceso productivo demande un sistema de energía solar térmica para agua se puede hacer rentable su utilización en calefacción, derivando hacia esta utilización los excedentes de calor no aprovechables en proceso.

### **3.11 Sistemas de refrigeración por absorción. Frío solar.**

De forma general, los sistemas de refrigeración por absorción son aquellos en los que el frío se obtiene a partir de una fuente de calor, y no de la electricidad. Los sistemas de refrigeración por absorción no entran en competencia con los sistemas convencionales de refrigeración por compresión o por enfriamiento evaporativo. Sin embargo, existen circunstancias donde la instalación de estos sistemas puede ser una opción más eficiente:

- Instalaciones donde existan generadores de calor que en determinados períodos no tengan suficiente demanda (unos ejemplos típicos son las instalaciones solares térmicas o sistemas de cogeneración en los meses cálidos). La instalación de sistemas de refrigeración por absorción aumentará el rendimiento de estas instalaciones.
- Naves donde exista un exceso de calor de proceso que se puede aprovechar.
- Situaciones en las que el coste marginal del combustible es muy bajo (por ejemplo, en caso de que se disponga de calderas de biomasa que aprovechen residuos del proceso productivo).

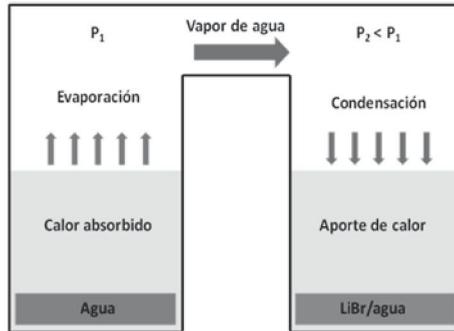
Otros beneficios de la refrigeración por absorción son:

- Las únicas partes móviles en un sistema de absorción compacto son las bombas internas. Esto implica que su funcionamiento será más silencioso y tendrá menos vibraciones que un sistema convencional de compresión.
- La potencia necesaria en un sistema de absorción es menor que la de un sistema de refrigeración por compresión.

#### **3.11.1 Funcionamiento de un sistema de absorción**

En los sistemas de refrigeración por absorción existen dos circuitos:

- Circuito del refrigerante: con compresor térmico, condensador y evaporador.
- Circuito del solvente: con absorbedor y el separador.



En los sistemas de efecto simple, el refrigerante no se comprime mecánicamente, sino que es absorbido y posteriormente bombeado al generador. En el generador se aporta calor, que separa de nuevo refrigerante y absorbente. El refrigerante en forma de vapor pasa al condensador y el líquido absorbente vuelve al absorbedor para reiniciar el ciclo. En sistemas de doble y triple efecto parte del calor se reutiliza para mejorar la eficiencia del sistema.

Las mezclas habituales son:

- Agua/amoniaco: donde el agua es el absorbente y el amoniaco el refrigerante.
- Bromuro de litio/agua: donde el bromuro de litio es el absorbente y el agua el refrigerante.

La principal diferencia entre estos dos sistemas es que mientras en la mezcla amoniaco/agua se pueden alcanzar temperaturas de refrigeración de  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , la mezcla LiBr/agua, en la que el agua es el refrigerante, la temperatura mínima es la de congelación del agua, por lo que es difícil bajar de  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a efectos prácticos.

En función de la fuente de calor se pueden seleccionar distintos tipos de sistemas de enfriamiento por absorción:

Vapor	Sistema de cogeneración con turbina de gas	Una caldera con turbina de gas es capaz de generar vapor con niveles de vapor apropiados para generación por absorción, así que se puede utilizar una unidad de efecto doble. La presión mínima de vapor sería de 7 a 9 bar.
Agua a $T > 140\text{ }^{\circ}\text{C}$		Sistema de absorción de efecto doble
Agua con $80 < T < 140\text{ }^{\circ}\text{C}$	Sistema de cogeneración con motor de combustión	Sistema de absorción de efecto simple
	Paneles solares térmicos	
Agua con $T < 80\text{ }^{\circ}\text{C}$		Sistema de absorción de efecto simple (con bajo rendimiento)

Los calores residuales de proceso como fuente de calor para los sistemas de absorción habría que encajarlos dentro de las condiciones mencionadas en la tabla en función de su temperatura de salida.

En caso de que el agua (o el vapor) proceda de calderas, no es eficiente tener calderas funcionando exclusivamente para los sistemas de refrigeración por absorción, salvo en los casos donde las calderas se deban tener funcionando por debajo de su capacidad.

Los sistemas de refrigeración por absorción presentan valores de rendimiento inferiores a los sistemas convencionales de compresión. Algunos valores típicos del COP son:

- Sistema de refrigeración por absorción efecto simple: aprox. 0,68
- Sistema de refrigeración por absorción efecto doble: 1 - 1,3
- Sistema de refrigeración por compresión mecánica: 2,5 - 4 o más.

Estos valores hay que tenerlos muy en cuenta a la hora de seleccionar el sistema de refrigeración. Algunas consideraciones que se deben hacer:

- Aunque parece que los sistemas convencionales son más eficientes, hay que tener en cuenta que la energía utilizada para calentar los sistemas de absorción procede de fuentes en las que, o bien su producción es muy barata, o bien se trata de energía recuperada de otros procesos.
- EL COP no tiene en cuenta la pérdida de eficiencia en la electricidad en los procesos de generación y transporte desde la central eléctrica a la nave.

### **3.11.2 Disipación del calor**

La cantidad de calor que debe disipar el sistema de refrigeración es igual al suministro de energía al sistema más el trabajo de refrigeración. Un COP bajo supone un índice elevado de disipación. Es importante entonces tener en cuenta esto si se sustituye un sistema de refrigeración por compresión con uno por absorción: se debe asegurar una capacidad adicional de condensación de agua. La tabla siguiente muestra una comparación simple de las necesidades de disipación de calor comparadas con un sistema de compresión de vapor.

Disipación de calor por kW de potencia de la enfriadora				
Tipo de enfriadora	Sistema de absorción LiBr/agua			Compresión de vapor
	Efecto simple Vapor/agua caliente	Efecto doble Vapor	Efecto doble Agua caliente	Eléctrico
COP	0,68	1,2	1,0	> 4
Disipación De calor en el agua condensada (Cociente de disipación de calor = 1+1/COP)	2,5	1,8	1,8	< 1,3
Disipación que se debe producir en agua condensada (normalizado a un sistema de compresión de vapor)	> 1,9	> 1,4	>1,4	1,0

### 3.11.3 Selección del sistema de refrigeración por absorción

Para la selección del sistema se deben seguir los siguientes pasos:

#### 1. Definir el objetivo:

- Aprovechar calores residuales.
- Mejorar el rendimiento de otras fuentes de energía (cogeneración, solar térmica)
- Cubrir toda o parte de la demanda de refrigeración del edificio.

#### 2. Cuantificar la disponibilidad de calor y la necesidad de refrigeración:

- Temperatura de la fuente de calor, para establecer si el sistema es de efecto simple o efecto doble.
- La temperatura de refrigeración determinará si el sistema necesario es de amoníaco/agua o LiBr/agua
- Comparar los ciclos de producción de calor y de demanda de frío, para un correcto dimensionamiento de los sistemas, o para la evaluación de la instalación de sistemas adicionales de refrigeración.

#### 3. Combinación de sistemas de absorción con instalaciones de cogeneración (trigeneración) o solar térmica. En este caso el diseño es más complejo, y se debe realizar teniendo en cuenta las características de ambos sistemas (calefacción y refrigeración) de forma conjunta.

### 3.11.4 Ejemplo

Se va a refrigerar una nave cuya curva de demanda de refrigeración podría quedar cubierta con un equipo de 900 kW trabajando unas 17 horas al día. Este equipo funcionaría al 95% de su capacidad. La fuente de calor es en forma de vapor a una presión de 2 bares, y a 133 °C. El agua de refrigeración debe estar a una temperatura de 7 °C. El agua de condensación la suministra una torre de refrigeración a 28 °C.

- La temperatura de la fuente de calor (vapor de agua) indica que es necesario una enfriadora de absorción de efecto simple.
- La temperatura de refrigeración es de 7 °C, por lo que el sistema recomendado es el LiBr/agua.
- La temperatura del vapor de agua asegura que la enfriadora funcionará al 100% de su capacidad.
- La temperatura de refrigeración es suficientemente alta para asegurara que la enfriadora funciona al 100% de su capacidad, con un COP aproximado de 0,68.
- Como se necesita una enfriadora de 900 kW, ésta necesita un suministro de calor de:

$$900 \text{ kW/COP} = 900 \text{ kW}/0,68 = 1,350 \text{ kW}$$

- El vapor de agua suministra 2.248 kJ/kg.
- Por lo tanto, la cantidad de vapor necesario es:

$$1,350 \text{ kW} / 2.248 \text{ kJ/kg} = 0,6 \text{ kg/seg de vapor de agua}$$

- Si la cantidad de vapor que se puede suministrar a esta temperatura es insuficiente, se debe reducir el tamaño de la enfriadora por absorción, de forma proporcional a la posibilidad de suministro.
- La potencia de calor eliminado será:

$$\text{Potencia de refrigeración} \times (1 + 1/\text{COP}) = 900 \text{ kW} \times (1 + 1/0,68) = 2.223 \text{ kW}$$

Este dato lo utilizará el suministrador de la torre de refrigeración para su diseño.

## 3.12 Sistemas de recuperación de calor

### 3.12.1 Recuperación de calor de proceso

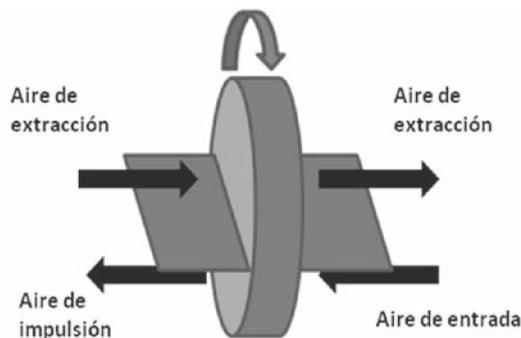
Hay distintos procesos donde es posible recuperar calor para la calefacción de la nave, y en general los mecanismos de recuperación dependen del proceso productivo. En este apartado se va a mencionar alguno de estos procesos, que suele ser común a muchas naves industriales. Se va a tomar el modelo del aire comprimido como ejemplo para otros sistemas. Sólo se abordarán aquellos sistemas que se pueden utilizar para los elementos de climatización de la nave.

A continuación se detallan los procesos más habituales de recuperación de calor de procesos productivos para su aplicación en calefacción.

#### *Recuperadores rotativos*

Se suelen utilizar en aplicaciones de recuperación de calor a temperaturas bajas y medias. Consiste en un disco poroso de un material con una alta capacidad calorífica, que rota entre dos conductos: uno de aire frío y el otro de aire caliente. El eje del disco está situado en paralelo entre los dos conductos. El calor sensible (humedad con calor latente) se transfiere al disco desde el aire caliente, y conforme el disco rota, pasa del disco al aire frío. La eficiencia de este recuperador llega hasta el 85%.

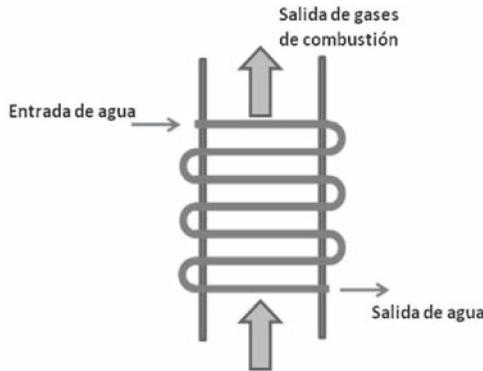
Su principal campo de aplicación es en aquellos procesos donde se produce el intercambio de calor entre grandes masas de aire, pero con diferencias de temperaturas pequeñas entre ellas: sistemas de climatización y ventilación, o escapes de aires de secado.



*Esquema de recuperador rotativo*

## ***Economizadores***

Los economizadores se utilizan en las salidas de humos de las calderas. Aprovechan el calor de la salida de los gases de combustión a alta temperatura, para precalentar o bien el agua de alimentación de la caldera, o bien el aire de combustión. En ambos casos se reduce la demanda de combustible y se aumenta su eficiencia. En este caso hay que tener en cuenta y evitar llegar al punto de rocío de compuestos que pueden ser corrosivos para los materiales de la caldera.



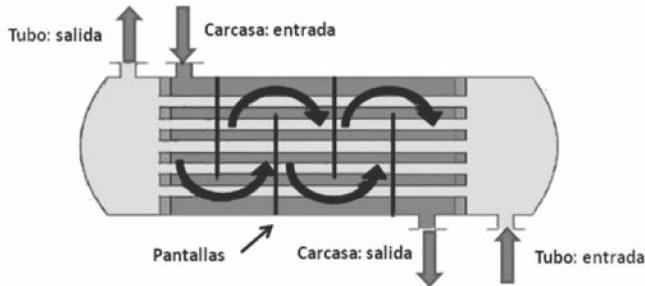
*Esquema de economizador*

## ***Intercambiador regenerativo de carcasa y tubos***

Se utilizan cuando el medio de eliminar el calor de proceso es en forma de líquido o vapor. Están formados por un haz de tubos que conduce uno de los fluidos y una carcasa o envolvente (usualmente cilíndrica) por la cual circula el segundo fluido. Estos intercambiadores se pueden usar para prácticamente cualquier intercambio entre dos fluidos, incluyendo aquellos con cambio de fase. Para aumentar el coeficiente de transferencia, se usan pantallas que bloquean parte de la sección transversal para el fluido en la carcasa e inducen en éste un movimiento alternante. El fluido a alta presión circula por los tubos, mientras el fluido a menor presión circula por la carcasa. Cuando se hace circular el vapor por la carcasa éste condensa, proporcionando el calor latente de cambio de fase al líquido que circula por los tubos.

Estos recuperadores de calor se utilizan para calentar agua con:

- Condensados de sistemas de refrigeración y aire acondicionado.
- Condensados de procesos de vapor.
- Refrigerantes de puertas de hornos o rejillas soporte de tuberías.
- Refrigerantes de motores, compresores, cojinetes o lubricantes.
- Condensados de procesos de destilación.



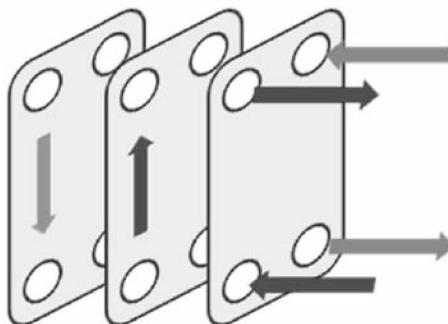
Esquema de intercambiador de carcasa y tubos

### **Intercambiadores de placas**

Este sistema permite aumentar mucho la superficie de intercambio de calor a un coste razonable, sobre todo cuando las diferencias de temperaturas no son muy altas. Consiste en una serie de finas placas dispuestas de forma paralela dejando un paso estrecho entre ellas. Las placas están separadas entre sí por juntas y constituyen la superficie de intercambio. El conjunto de placas forma un sistema de canales de flujos paralelos, en donde los fluidos caliente y frío circulan a contracorriente atravesando canales alternativos, mejorando así el coeficiente de transmisión de calor. Las placas suelen ser corrugadas, lo que aumenta la superficie de intercambio térmico.

Algunas aplicaciones características de estos sistemas son:

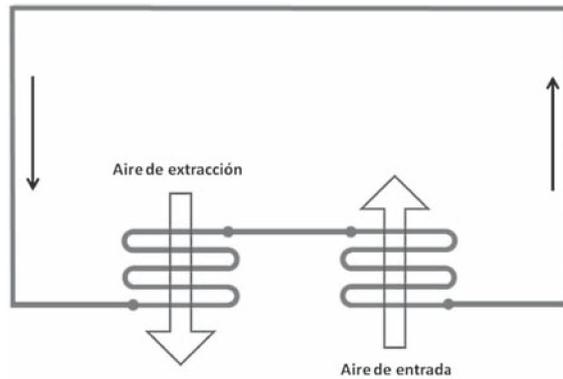
- Proceso de pasteurización en la industria láctea.
- Plantas de evaporación en la industria alimentaria.



Esquema de intercambiador de placas

### **Intercambiadores de baterías “run around”**

En los recuperadores *run-around* los conductos de entrada y salida del aire están separados. La energía se transfiere a través de los intercambiadores de calor (uno en cada conducto), utilizando un fluido, normalmente agua, como caloportador. Es un sistema por lo tanto muy flexible, ya que no necesita que los circuitos de entrada y salida de aire estén contiguos, a la vez que elimina el riesgo de contaminación entre el aire de salida y el de entrada. Por el contrario, la necesidad de utilizar un fluido intermedio en las baterías de intercambio de calor disminuye la eficiencia del sistema y precisa de consumo eléctrico para el movimiento y bombeo del fluido.



Esquema de intercambiador “run around”

### **Calderas de recuperación**

En las calderas de recuperación los gases de escape de turbinas de gas, incineradores, etc. pasan a través de un conjunto de tubos con agua. El agua se evapora y este vapor puede ser utilizado bien en proceso, bien para utilizarlo en sistemas de calefacción. El diseño de los tubos de agua se realiza de forma que se maximice la transferencia de calor (incluyendo aletas, por ejemplo). El control en las calderas de recuperación se realiza fácilmente en base a la demanda y presión del vapor, lo que depende de la temperatura de entrada en la caldera de los gases resultantes del proceso industrial.

Aunque estos equipos pueden proporcionar agua caliente, ésta se dedica fundamentalmente al propio proceso industrial y sólo en contadas ocasiones a climatización.

La tabla siguiente muestra las posibilidades de aprovechamiento de calores residuales en una nave industrial:

Fuente de calor	Posible utilización
Gases de combustión	El potencial de aprovechamiento del calor recuperado aumenta con la temperatura de los gases.
Vapor	Sucede igual que con los gases de combustión, y existe además la posibilidad de recuperación de calor latente al condensar el vapor.
Calor radiante y de convección procedente del exterior de equipos industriales	Se puede utilizar para calefacción o precalentamiento de aire.
Agua o fluidos de refrigeración	A través de un intercambiador de calor se puede suministrar agua caliente que puede ser utilizada para calefacción entre otros usos.
Suministro o evacuación de agua fría	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reducción de la demanda de refrigeración.</li> <li>• Suministro de frío a una bomba de calor (rendimiento bajo)</li> </ul>
Calor almacenado en productos resultantes del proceso industrial	Depende mucho de la temperatura.
Calor en efluentes líquidos o sólidos evacuados del proceso industrial	Se puede recuperar el calor, aunque en el caso de que los fluidos estén contaminados es necesario un intercambiador y eso reduce mucho la eficiencia.

La siguiente tabla muestra los rangos de temperaturas en el calor aprovechable en distintos procesos industriales. Sólo se detallan los procesos a media y baja temperatura, ya que los de alta temperatura no se utilizan para climatización:

Proceso	Temperatura (°C)
<b>Temperatura media</b>	
Escapes de calderas de vapor	230 – 480
Escapes de turbinas de gas	370 – 540
Escapes de motores recíprocos	315 – 600
Escapes de motores recíprocos (turboalimentados)	230 – 370
Hornos de tratamiento térmico	425 – 600
Hornos de secado	230 – 600
Sistemas de refrigeración de hornos de templado y recocido	425 – 600
<b>Temperatura baja</b>	
Condensados de vapor	50 – 90
Agua de refrigeración de puertas de hornos	30 – 60
Agua de refrigeración de rodamientos y cojinetes	30 – 90
Refrigeración de equipos de soldadura	30 – 90
Refrigeración de equipos de moldeado por inyección	30 – 90
Matrices y herramientas de conformado metálico	25 – 90
Compresores de aire	25 – 90
Bombas	25 – 90
Motores de combustión interna	65 – 120
Condensadores de aire acondicionado y equipos de refrigeración	30 – 45
Hornos de curado y secado	90 – 230

La cantidad de calor que se puede recuperar en un proceso está determinada por esta fórmula:

$$Q = V \times \rho \times C_p \times \Delta T \times h$$

Donde:

Q es el calor contenido en kcal.

V es el caudal del elemento portador en m<sup>3</sup>/h.

$\rho$  es la densidad del elemento portador en kg/m<sup>3</sup>.

$C_p$  es el calor específico del elemento portador en kcal/kg °C.

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura en °C del elemento portador antes y después del intercambio

h es la eficiencia del sistema de recuperación calor.

### **3.12.1.1. Ejemplo**

Una empresa de tratamientos superficiales elimina agua procedente de la refrigeración de sus sistemas. El caudal medio es de 900 kg/hora y la temperatura de evacuación son 75 °C. El agua se utiliza para precalentar el agua de entrada en el sistema de calefacción. El agua de red tiene una temperatura media anual de 11 °C. La transferencia de calor se hace a través de un intercambiador de calor con una eficiencia del 58%. Se estima un funcionamiento anual de 5.000 horas.

i) Flujo másico anual del elemento portador (agua)	900 kg/hora x 5000 horas : 4.500 Ton
ii) Calor específico del agua	1 kcal/kg °C
iii) $\Delta T$	75 - 11 = 64 °C
iv) Eficiencia del recuperador de calor	58%
v) Calor recuperado	4.500 Ton x 1 kcal/kg °C x 64 °C x 58% = 167,04 Gcal = 194.268 kWh

El sistema ahorra casi 200.000 kWh anuales, que a partir de una caldera de gas natural con un rendimiento del 95% y un precio de 0,04 €/kWh supondría un coste de 8.180 €.

### **3.12.1.2 Sistemas de aire comprimido**

Los sistemas de aire comprimido son un ejemplo de sistema con una gran posibilidad de recuperación de calor. Hasta el 90% de la energía que consume un compresor de aire se puede recuperar en forma de calor. Las temperaturas a las que se puede recuperar hace que sean bastante apropiados para combinarlos con sistemas de climatización: Un compresor refrigerado por aire puede suministrar aire caliente hasta 80 °C, mientras los compresores refrigerados por agua pueden suministrar agua caliente hasta 95 °C.

A la hora de evaluar la posibilidad de recuperar calor de un sistema de aire comprimido, hay que tener en cuenta:

- La demanda de calor.
- El tipo de refrigeración del compresor.

Las mejores opciones para recuperar el calor están en la utilización del aire caliente que sale del compresor para dirigirlo a las zonas que interesa calentar de la nave. En el caso de compresores refrigerados por agua, el agua se utilizaría para calentar agua bien para calefacción, bien para el circuito de A.C.S. a través de intercambiadores.

A la hora de definir el método de recuperación de calor es importante establecer la demanda de calor: cuándo se produce la demanda, y cuánta puede ser cubierta por el sistema de aire comprimido. Hay que tener en cuenta, por ejemplo, que en los meses de verano el calor generado no puede ser utilizado para calefacción, por lo que el sistema debe ser diseñado para poder utilizar el calor de otra manera (A.C.S., equipos de absorción) o eliminarlo de manera que no se sobrecalienten las zonas de trabajo.

Una vez seleccionada la potencia del compresor, se puede alcanzar una recuperación de calor que puede llegar hasta el 90% de este valor, en función del sistema de recuperación instalado y del régimen de carga del compresor. Como norma general, las medidas de recuperación de calor en compresores de aire suelen ser eficientes (económicamente hablando) a partir de potencias de compresor de 15 kW.

La recuperación de aire caliente tiene su máxima eficacia cuando se combina con sistemas de calefacción de aire caliente (aerotermos, por ejemplo). También se puede utilizar directamente el aire caliente generado en cortinas de aire en partes de la nave (zonas de carga, puertas). En el caso de calor radiante, la recuperación de aire caliente no es un método eficiente, ya que para estos sistemas el aporte de aire caliente al ambiente no supone una mejora en su rendimiento.

De forma general, se podría realizar una estimación de que cada kW de potencia de un compresor trabajando a plena potencia puede calentar entre 5 y 10 m<sup>2</sup> de una nave industrial de tipo medio. En naves con buenos elementos de aislamiento y estanqueidad a infiltraciones estos valores podrían subir hasta 20 m<sup>2</sup>/kW.

La recuperación de aire caliente se puede realizar de dos formas:

- Sistema abierto: El aire caliente que sale del sistema de refrigeración del compresor pasa directamente al sistema de conductos de climatización de la nave.
- Sistema por conductos: Se utiliza en compresores que llevan una protección acústica. Estos equipos disponen de una salida para el aire de refrigeración, a la que se acopla el sistema de conducción para llevar el aire caliente a la zona de utilización. Hay que evitar limitar el flujo del aire de refrigeración, ya que eso reduciría el rendimiento del compresor. En caso necesario habrá que utilizar ventiladores complementarios en los conductos de salida.

En compresores refrigerados por agua, ésta tiene una temperatura de salida que puede rondar los 95 °C, y se puede recuperar, bien directamente, bien a través de un intercambiador de calor. El agua caliente recuperada se puede utilizar para sistemas de calefacción, ACS, aumentar la temperatura de entrada del agua de la caldera o incluso para agua caliente para el proceso industrial. Existen diversas formas de recuperar agua caliente, aunque el modelo más sencillo es a través de un intercambiador de placas. Al estar en circuito cerrado, el agua de refrigeración del compresor no se contamina. Es necesario incluir una válvula termostática en el sistema para evitar que se produzca algún sobrecalentamiento del agua de refrigeración del compresor, lo que disminuiría su eficiencia.

La mayoría de las calderas gas necesitan entre 10 y 16 m<sup>3</sup> de aire de combustión por cada m<sup>3</sup> de gas, mientras que en las de combustibles líquidos la relación es de 13 a 16 m<sup>3</sup> de aire por cada kg de combustible. El aire caliente procedente de la refrigeración del compresor se puede utilizar para introducirlo como aire precalentado en calderas de combustión. Aunque es necesario consultar con el fabricante la viabilidad de esta técnica, no suele haber problemas para introducir aire hasta a 60 °C en los quemadores.

De forma general, la recuperación del aire de refrigeración de un compresor de 20 kW a plena carga puede suministrar suficiente aire caliente para las necesidades de combustión de una caldera de 1 MW. El suministro de aire se puede realizar directamente desde el compresor, o bien interconectando la salida del compresor con la entrada de aire de la caldera a través de una toma exterior, que sirve de sistema de venteo cuando el aporte de aire es excesivo, o como toma de aire cuando el que proviene del compresor no es suficiente. En ambos casos la

toma de aire caliente se realiza a través de la compuerta de entrada de aire de la caldera. Esta compuerta tiene que estar controlada para evitar sobrecalentamientos en la caldera cuando funciona a baja carga o está apagada.

Como en otros casos donde se utilizan excedentes de calor para precalentar o mejora el rendimiento de equipos, es muy importante hacer una correcta valoración de la demanda y el suministro de calor, de forma que ambos procesos sean complementarios. En caso de que en momentos puntuales se genere calor por encima de la demanda, deberá estudiarse, analizando la viabilidad económica la posibilidad de utilizar sistemas de almacenamiento térmico (depósitos en el caso de agua caliente) para reutilizar el calor sobrante en momentos de picos de demanda.

## Ejemplo

En una nave funcionan tres compresores refrigerados por aire de 360 l/s y 132 kW. Durante el proceso, uno funciona al 100%, el segundo al 30% y el tercero está en reserva. Se rotan los compresores para igualar horas de funcionamiento.

El aire recuperado se quiere utilizar para calentar una nave durante 30 semanas al año. La nave se calienta con una caldera de gasóleo, con una eficiencia del 80%. El coste del gasóleo es de 0,05 €/kWh. El sistema debe funcionar 10 horas al día durante cinco días a la semana. El coste de la electricidad es de 0,10 €/kWh.

La conexión de la salida del aire del compresor al sistema de calefacción por aire de la nave, con un ventilador de 10 kW para impulsar el aire, tiene un coste de 11.000 €.

i) Calor disponible en cada compresor a plena carga	$132 \text{ kW} \times 90\% = 120 \text{ kW}$
ii) Factor de carga de los compresores	$100\% + 30\% = 130\%$
iii) Calor recuperado total	$120 \text{ kW} \times 130\% = 156 \text{ kW}$
iv) Porcentaje de calor utilizable	90% (10% pérdidas)
v) Calor utilizable (potencia)	$156 \text{ kW} \times 90\% = 140,4 \text{ kW}$
vi) Horas al año de calor recuperado	$10 \text{ h/día} \times 5 \text{ días/sem.} \times 30 \text{ sem.} = 1.500 \text{ h}$
vii) Ahorro anual energía	$140,4 \text{ kW} \times 1.500 \text{ h} = 210.600 \text{ kWh}$
viii) Coste bruto del combustible ahorrado	$0,05 \text{ €/kWh} / 80\% = 0,0625 \text{ €/kWh}$
ix) Ahorro anual en combustible (€)	$210.600 \text{ kWh} \times 0,0625 \text{ €/kWh} = 13.162,5 \text{ €}$
x) Coste anual de funcionamiento de equipos auxiliares	$10 \text{ kW} \times 1.500 \text{ h} \times 0,10 \text{ €/kWh} = 1.500 \text{ €}$
xi) Ahorro económico anual	$13.162,5 \text{ €} - 1.500 \text{ €} = 11.662,5 \text{ €}$
xii) Inversión	11.000 €
xiii) Período de retorno simple	$11.000 \text{ €} / 11.662,5 \text{ €/año} = 0,95 \text{ años}$

### **3.12.2 Recuperación de calor en aire de climatización y ventilación**

Los sistemas de recuperación aire - aire recuperan la energía del aire de salida (frío o caliente) y la transfieren al aire de entrada. Esto reduce la necesidad de calentar o refrigerar el aire de entrada de climatización para alcanzar las condiciones de confort térmico.

Existen tres sistemas principales para la recuperación de calor en sistemas de ventilación y climatización:

#### ***Recuperadores estáticos (intercambiadores de placas)***

Este tipo de recuperadores es el más habitual en uso residencial. Son unidades relativamente compactas y de fácil instalación en los circuitos de aire. Estos sistemas transfieren la energía del aire de salida al de entrada a través de las superficies de un intercambiador de placas. Los equipos están contruidos de manera que las corrientes de aire de salida y entrada están separadas físicamente, por lo que la posibilidad de contaminación o fugas de una a otra es mínima.

- Disponibles para flujos hasta 5 m<sup>3</sup>/h.
- El rendimiento varía con la velocidad y el flujo másico del aire, pero para flujos equivalentes puede estar entre el 60 y el 70%.
- Son los menos costosos y los que requieren menos mantenimiento.

#### ***Recuperadores rotativos***

En estos sistemas la contaminación entre el aire de salida y el de entrada es mayor. En la mayor parte de las ocasiones esto no es un problema, pero sí hay que tenerlo en consideración en naves donde esto no sea compatible con el proceso productivo: industrial alimentaria, industria farmacéutica, salas limpias, etc.

- Disponibles para flujos hasta 30 m<sup>3</sup>/h.
- Rendimiento entre el 70 y el 80% para intercambio de calor sensible y flujos másicos iguales de aire de entrada y salida.
- Caídas de presión entre 100 y 200 Pa (para una velocidad de 2,5 m/s)

#### ***Recuperadores “run-around”***

El funcionamiento de los sistemas de recuperación *run-around* es el mismo que los utilizados para recuperar calor de procesos productivos. Se basa en el intercambio de calor a través de un fluido intermedio.

- Para un volumen de entrada doble que el de salida, el rendimiento puede estar entre el 75% y el 85%.

- La caída de presión en el intercambiador es del orden de 250 Pa.
- La eficiencia de las baterías está entre el 60 y el 65%. Ésta se puede reducir al 50% en caso de utilizar algún anticongelante.
- Las baterías se pueden diseñar para caídas de presión bajas, del orden de 100 a 150 Pa.

### 3.13 Cogeneración

Estamos ante otro sistema que puede ser interesante en climatización de naves industriales sólo si una buena parte de su producción se destina al proceso industrial. En el caso de utilización exclusiva en climatización no suele ser un sistema rentable.

La cogeneración es la producción simultánea de electricidad y calor y/o frío mediante el funcionamiento de una máquina térmica con el aprovechamiento de los calores residuales de los sistemas de producción eléctrica. Para su aplicación deben darse las siguientes condiciones:

- Necesidad de electricidad y calor y/o frío a niveles adecuados.
- Disponibilidad de una fuente energética adecuada, preferentemente gas natural.
- Régimen alto de funcionamiento.

Ventajas y beneficios de la cogeneración:

- Reducción de pérdidas en la red de transmisión y distribución de electricidad al reducirse la distancia generador - consumidor.
- Menos consumo de energía primaria al lograrse mayores rendimientos globales al aprovecharse parte del calor residual.
- Posible reducción de los picos de consumo.
- Ahorro en la factura energética y posibilidad de utilizar el cogenerador como eléctrico de emergencia.

Desventajas:

- Mayor complejidad técnica y operativa.
- El equipo cogenerador no puede copiar la curva de demanda por lo que no es posible prescindir del respaldo de conexión a red y de generación de energía térmica.

Aplicaciones más usuales:

- Sistemas industriales de gran tamaño.
- Calefacción de distrito.
- Sistemas residenciales y de servicios.

### 3.13.1 Clasificación de sistemas de cogeneración

Dependiendo de la máquina de generación de la energía eléctrica los tipos son los siguientes:

- **Cogeneración con turbina de gas** en donde la expansión de los gases quemados en la cámara de combustión acciona la turbina que a su vez acciona el generador de electricidad. Su empleo es adecuado cuando existen elevadas demandas de vapor.
- **Cogeneración con turbina de vapor:** la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión procedente de una caldera convencional. Actualmente solo se utiliza en instalaciones que utilizan combustibles residuales como biomasa o residuos que se incineran.
- **Cogeneración con motor alternativo** en este caso se transforma la energía del combustible en mecánica que posteriormente se convierte en energía eléctrica en el generador.
- **Trigeneración:** se basa en la producción conjunta de electricidad, calor y frío. La instalación es similar a una planta de cogeneración a la que se le añade un sistema de absorción para la producción de frío.

Una diferencia fundamental entre la cogeneración con turbina y con motor es el modo de recuperación del calor residual. En las turbinas existe una sola fuente que aporta calor, los gases de escape, mientras que en los motores además es recuperable el calor que produce el sistema de refrigeración del motor.

En la cogeneración con turbinas de gas o con motor alternativo, el calor contenido en los gases de escape es empleado para la producción de vapor, calentamiento de agua o aceites térmicos, etc.

Si la demanda de energía térmica es elevada es viable la utilización de turbinas de gas, en otros casos el tipo más adecuado es con motores alternativos.

Utilizando motores alternativos se obtienen unos rendimientos eléctricos más elevados que con las turbinas pero el aprovechamiento de la energía térmica es menor. Otra ventaja de la utilización de motores alternativos es su mayor

flexibilidad de funcionamiento, lo que le permite responder de forma rápida a variaciones de demanda.

### **3.13.2 Componentes principales de un sistema de cogeneración**

- Elemento productor: puede ser una turbina de gas o un motor alternativo que lleva acoplado un generador.
- Motor alternativo: máquina de combustión interna.
- Recuperador de calor de los gases de escape y del agua del circuito de refrigeración del motor.
- Sistema de interconexión eléctrica para la conexión de la energía eléctrica generada con la red de la compañía suministradora.
- Elementos auxiliares como son la instalación de combustible, torres de refrigeración o intercambiadores.

## **3.14 Sistemas de distribución y conducciones**

Es importante para la eficiencia en los sistemas de climatización de una nave mantener un correcto diseño y aislamiento de las conducciones y tuberías. En ocasiones, parte de lo que se invierte en sistemas de generación de calor o frío de alta eficiencia se pierde en un sistema de distribución poco eficiente.

Por ejemplo, una tubería de conducción de calefacción perderá calor sólo por el hecho de estar rodeada de aire a menor temperatura. La velocidad de pérdida de calor depende de muchos factores, pero los más importantes son la diferencia de temperatura entre la tubería y el aire exterior y la superficie en contacto. Una capa aislante va a reducir la diferencia de temperatura entre tuberías y aire exterior. Bien es cierto que la superficie de contacto aumenta un poco, pero el efecto de la reducción en la temperatura exterior es mucho mayor y por lo tanto el efecto neto es una disminución de las pérdidas energéticas.

Por ejemplo, una tubería de cobre de 16 mm con agua a 75 °C, y una temperatura en la nave de 18 °C tiene unas pérdidas energéticas de 57 W/m. Sin embargo, si esa tubería se recubre con 5 mm de aislante de poliuretano, reduce sus pérdidas a 16 W/m, con una temperatura en superficie que ha bajado de 75 °C a 33 °C.

Sería posible reducir las pérdidas energéticas en conducciones: no habría más que realizar la selección adecuada de material y espesor de aislamiento. Sin embargo, el coste de operación de una tubería es la suma de los costes de

pérdidas de calor y del aislamiento. Y llega un momento en el que al aumento de coste en aislamiento no justifica los ahorros energéticos que eso supone. Hay que llegar entonces a un compromiso que maximice los ahorros energéticos pero sin disparar los costes de material e instalación del aislante, en lo que se denomina **espesor económico** de aislante.

Para realizar el análisis del espesor económico, los datos que se necesitan son los siguientes:

***Para determinar las pérdidas caloríficas en tuberías:***

- Coste de combustible.
- Rendimiento de la caldera o del generador de calor.
- Horas de funcionamiento anual.
- Tamaño y espesor de las tuberías.
- Temperatura del agua o fluido.
- Tipo y espesor del aislante.
- Condiciones ambientales de trabajo.

***Para determinar el coste del aislamiento:***

- Coste del material.
- Coste de elementos accesorios.
- Coste de personal.

***Para determinar el período de evaluación:***

- Vida media de las instalaciones.
- Horas de funcionamiento al año.

Los materiales aislantes para tuberías pueden ser:

- Inorgánicos: compuestos amorfos o cristalinos de silicio, aluminio o calcio.
- Orgánicos: materiales poliméricos termoplásticos o termoestables.

Estos aislantes pueden suministrarse en varios formatos:

- Flexible.
- Rígido.
- Material para proyectar.

La siguiente tabla muestra una lista con algunos de los materiales más habituales y sus características:

Material	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica (W/mK)	
		50 °C	100 °C
Silicato de calcio	210	0,055	0,058
Lana vidrio	16	0,047	0,065
	48	0,035	0,044
Lana Roca	100	0,037	0,043
Óxido de magnesio	190	0,055	0,058
Espuma de poliisocianurato	50	0,023	0,026
Espuma de poliuretano		0,05	

Existen diversos procedimientos de cálculo del espesor económico de aislamiento. Los hay basados en tablas de emisividad en función del material y espesor. También existen procedimientos puramente analíticos, como el descrito en la “Guía Técnica del Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos” editada por el IDAE. En este manual se va a describir un procedimiento tabulado, para el que se utilizará de ayuda el software gratuito AISLAM ofrecido por el IDAE ([www.idae.es](http://www.idae.es)). Este software dispone también de una opción de cálculo del espesor económico.

### 3.14.1 Cálculo del espesor del aislante

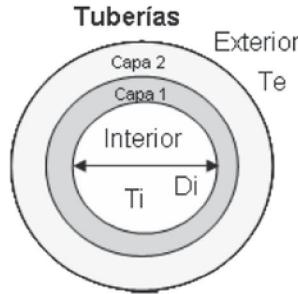
Para el cálculo se deben seguir los siguientes pasos:

#### *Paso 1. Espesor del aislante*

Se completa la tabla para un rango de posibles espesores. Se puede comenzar con las tuberías desnudas sin aislante, y continuar con cada uno de los espesores disponible del aislante seleccionado.

#### *Paso 2. Pérdidas energéticas*

Las pérdidas energéticas por metro de tubería dependen de la temperatura del fluido, el diámetro de la tubería, el aislante y la temperatura ambiente. Los datos de pérdidas energéticas se pueden extraer de la información del suministrador, a partir de tablas (ábaco de Wrede, por ejemplo), o bien directamente de la aplicación de la fórmula (esta fórmula está resuelta para distintas condiciones en el programa AISLAM)



$$q / H = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\frac{1}{2\pi r_{int} h_{conv,int}} + \sum_{\substack{\text{capas} \\ \text{material}}} \frac{\ln \left( \frac{r_{i+1}}{r_i} \right)}{2\pi k_i} + \frac{1}{2\pi r_{ext} h_{conv\_rad,ext}}} = \frac{T_{int} - T_{ext}}{R_{total, cilindricas}}$$

Donde:

q/H Flujo de calor por unidad de longitud (W/m)

T Temperatura (° C)

r Radio de la tubería (m)

h Coeficiente de convección o radiación (W/m²K)

k Conductividad (W/mK)

### Paso 3. Coste por pérdida energética

Este factor establece el coste de la pérdida de energía por metro de tubería a lo largo del período de amortización de la instalación. Se define a través de la siguiente fórmula:

$$\text{Coste por pérdida energética} = \text{€/kWh} \times \text{Período de amortización (horas)} \\ \times \text{Pérdida energética (W/m)} / 1.000$$

En este factor se debe tener en cuenta el tipo de combustible utilizado.

### Paso 4. Coste de instalación y mantenimiento

Coste total del material aislante por metro de instalación. Debe incluir el coste de material, instalación y mantenimiento. Este coste se debe estimar para cada uno de los espesores de aislante considerado.

### **Paso 5. Coste total**

Es la suma de los costes por pérdidas energéticas y por instalación y mantenimiento. El espesor económico es el que minimiza este coste.

#### **3.14.2 Ejemplo**

Se supone una nave industrial con una caldera de gasóleo que suministra agua caliente para calefacción a 90 °C. El agua se distribuye a través de tuberías de cobre de 42 mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor. Se utiliza un aislante de lana de vidrio moldeada con una conductividad térmica de 0,034 W/m °C. El coste total de instalación (incluido material) para distintos espesores de aislante es:

20 mm	2,7 €/m
30 mm	4,7 €/m
40 mm	6,3 €/m
50 mm	8,0 €/m
60 mm	10,9 €/m

El tiempo de amortización estimado es de 5 años, con un funcionamiento de 3.000 horas/año. El aire de la nave se mantiene a una temperatura de 18 °C.

#### **Paso 1. Espesor del aislante**

Se van a introducir los cinco espesores suministrados por el fabricante.

#### **Paso 2. Pérdidas energéticas**

Se calculan las pérdidas energéticas por metro de tubería para cada una de los espesores, incluyendo la tubería sin aislante:

Espesor aislante (mm)	Pérdidas energéticas (W/m)
0	150,5
20	20,9
30	16,4
40	13,9
50	12,3
60	11,2

### Paso 3. Coste por pérdida energética

Se considera un coste del gasóleo de 0,05 €/kWh. El coste por pérdida energética lo incluimos en la tabla, aplicando la fórmula:

$$\text{Coste por pérdida energética} = \text{€/kWh} \times \text{Período de amortización (horas)} \times \text{Pérdida energética (W/m)} / 1.000$$

Esesor aislante (mm)	Pérdidas energéticas (W/m)	Coste por pérdidas energéticas (€/m)
0	150,5	112,875
20	20,9	15,675
30	16,4	12,3
40	13,9	10,425
50	12,3	9,225
60	11,2	8,4

### Paso 4. Coste de instalación y mantenimiento

Al coste de material e instalación se le añade un coste de 2 €/m de mantenimiento del aislante durante los cinco años del análisis.

Esesor aislante (mm)	Pérdidas energéticas (W/m)	Coste por pérdidas energéticas (€/m)	Coste de instalación y mantenimiento (€/m)
0	150,5	112,875	2
20	20,9	15,675	4,7
30	16,4	12,3	6,7
40	13,9	10,425	8,3
50	12,3	9,225	10
60	11,2	8,4	12,9

### Paso 5. Coste total

El espesor que minimiza las pérdidas energéticas manteniendo un coste de instalación y mantenimiento aceptables es la coquilla de 40 mm.

Esesor aislante (mm)	Pérdidas energéticas (W/m)	Coste por pérdidas energéticas (€/m)	Coste de instalación y mantenimiento (€/m)	Coste total (€/m)
0	150,5	112,875	2	114,875
20	20,9	15,675	4,7	20,375
30	16,4	12,3	6,7	19
40	13,9	10,425	8,3	18,725
50	12,3	9,225	10	19,225
60	11,2	8,4	12,9	21,3

### 3.15 Control de huecos

Las naves industriales se caracterizan entre otras cosas por tener áreas de trabajo que necesitan estar climatizadas en contacto directo con otras zonas que por razón de su actividad (almacenes, muelles de carga, zonas con maquinaria, etc.) no tienen dichas exigencias. En muchos casos es habitual el paso frecuente de personas, materiales o mercancías entre zonas, lo que puede dar lugar a transferencias térmicas importantes entre zonas climatizadas y no climatizadas, de forma más acusada cuando esto se produce entre el exterior y el interior de la nave. Para evitar estas pérdidas de calor existen mecanismos que permiten la circulación entre zonas, pero limitan la transferencia térmica, mejorando la eficiencia energética de los sistemas de climatización.

Existen varios factores que afectan al intercambio de aire y las pérdidas de energía a través de los huecos. Los principales son el tamaño del hueco, la intensidad del tráfico (es decir, el tiempo que está abierto el hueco) y la carga generada por la acción del viento y las diferencias de presión y temperatura.

El flujo de aire a través de un hueco depende de tres factores:

- La diferencia de presión entre el interior y el exterior.
- La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior.
- La velocidad del viento en el hueco (en el caso de tratarse de un hueco en la envolvente exterior)

De acuerdo con la termodinámica el aire pasa por el hueco en una u otra dirección para equilibrar las diferencias de presión y temperatura. En las naves con calefacción, esto significa que el aire caliente sale al exterior, y entra el aire frío. El viento que sopla en dirección del hueco también influye en el flujo de aire.

#### ***Flujo de aire resultante de las diferencias de presión***

La diferencia de presión entre el edificio y el exterior se puede eliminar mediante una ventilación equilibrada que contrarreste el flujo de aire resultante de las diferencias de presión entre el aire del exterior y el del interior. Este efecto no se suele encontrar en huecos entre zonas interiores del edificio, donde las diferencias de presión son mínimas.

En función de las condiciones exteriores, como variaciones de la temperatura, la presión del aire, los efectos del viento o la humedad, el ajuste del sistema de ventilación dará lugar a variaciones de presión del edificio con respecto al exterior.

La fórmula siguiente permite calcular el flujo del aire derivado de la diferencia de presión. Este es un término de poco peso con respecto a los derivados de la diferencia de temperatura o de la fuerza del viento, y en algunos casos no se tiene en cuenta para el cálculo

$$Q_p(\text{m}^3/\text{s}) = W \cdot H \cdot \sqrt{\frac{\Delta P \cdot 2}{\rho}} \cdot 0,8$$

Donde:

W = Anchura de la puerta [m]

H = Altura de la puerta [m]

$\Delta P$  = Diferencias de presión

$\rho$  = Densidad del aire

### ***Flujo de aire resultante de las diferencias de temperatura***

El aire caliente del interior de la nave es menos denso y pesado que el aire frío del exterior, lo que provoca una diferencia de presión en el hueco: El aire frío del exterior entra por la parte inferior del hueco, forzando la salida del aire caliente por la parte superior. Este movimiento de aire depende de las diferencias de temperatura entre el aire del interior y el del exterior. Conocidas las temperaturas dentro del edificio y en el exterior, es posible calcular las respectivas densidades de aire y por lo tanto también las diferencias de presión y el flujo de aire a través del hueco.

El flujo de aire,  $Q_T$ , queda definido con la fórmula siguiente:

$$Q_T(\text{m}^3/\text{s}) = \frac{W}{3} \cdot H^{1,5} \cdot \mu_0 \cdot \sqrt{g \cdot \frac{\Delta \rho}{\rho_m}}$$

Donde:

W = Anchura de la puerta [m]

H = Altura de la puerta [m]

$\mu_0$  = Coeficiente del flujo de aire (0,1-1,0)

g = Constante de gravedad (9,81 m/s<sup>2</sup>)

$\Delta \rho$  = Diferencias de densidad entre las masas de aire

$\rho_m$  = Densidad media de las masas de aire

### **Flujo de aire resultante de la fuerza del viento**

Cuando el viento sopla contra un hueco, provoca el paso de corrientes de aire que se distribuye de forma uniforme por todo el hueco. El flujo del aire es proporcional a la velocidad del viento que incide sobre el hueco. Una velocidad del viento de 3 m/s equivale a una presión de carga de 5 Pa, ya que la entrada de aire provocará una sobrepresión en el interior de la nave.

El flujo de aire provocado por la fuerza del viento,  $Q_v$ , se puede calcular como sigue:

$$Q_v(\text{m}^3/\text{s}) = W \cdot H \cdot \frac{V_{10}}{2} \cdot 0,25 \cdot L$$

Donde:

W = Anchura de la puerta (m)

H = Altura de la puerta (m)

$v_{10}$  = Velocidad media anual a una altura de 10 metros (datos climáticos)

0,25 = Factor de frecuencia de la dirección del viento

L = Factor de posición: 1 = valor normal, >1 en la posición considerada

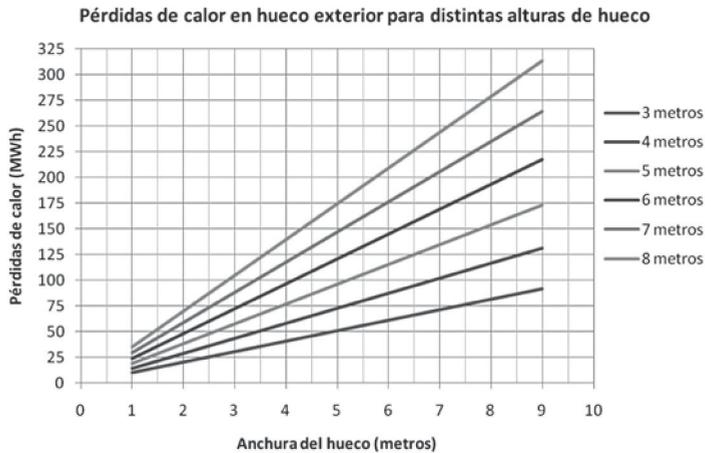
### **Flujo de aire total**

El flujo de aire total a través del hueco es la suma del flujo que se genera debido a las diferencias de presión y temperatura y el flujo que se produce a causa de la fuerza del viento.

$$Q_{\text{tot}} = Q_T + Q_v + Q_p$$

La siguiente gráfica muestra las pérdidas anuales que se producen en un hueco sin proteger en una nave industrial con las siguientes características:

Temperatura media anual exterior	6 °C
Velocidad del viento media anual $v_{10}$	4 m/s
Tiempo que pasa abierta la puerta	1 hora/día
Días de actividad a la semana	5 días



### 3.15.1 Cortinas de aire

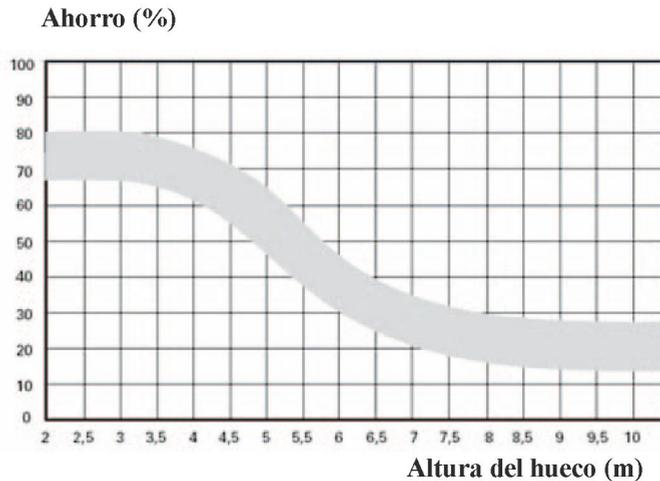
La instalación de una cortina de aire en una puerta industrial es una de las soluciones para evitar las pérdidas energéticas en huecos que permanecen mucho tiempo abiertos. La barrera de aire crea un muro invisible que impide que el aire caliente salga y que el aire frío entre. Esto se consigue con un correcto diseño de la cortina de aire que debe tener una velocidad de salida del aire estudiada en relación con la altura de la puerta.

Las cortinas de aire pueden ser de aire ambiente sin calentar, ó bien con aire caliente. Esto último puede realizarse con baterías de agua caliente, vapor, o con generadores de aire caliente a gas. Una cortina de aire cogerá el aire caliente del techo y lo enviará hacia abajo delante de la puerta: esto no solamente creará un muro invisible entre el exterior y el interior, sino que además servirá para regularizar las diferencias de temperatura.

Para conseguir el mejor resultado posible, las cortinas de aire deberían instalarse tan cerca como sea posible de la abertura, y deberían ocupar la anchura completa de la entrada. Aunque por norma general se colocan de forma horizontal en la parte superior de la puerta, también existen cortinas de aire verticales, que se instalan en el lateral de las puertas, en el caso de puertas basculantes o enrollables.

Para que una cortina de aire trabaje con la máxima eficacia, es importante que no se produzcan sobrepresiones ni subpresiones demasiado elevadas en el edificio. La cortina de aire admite hasta 5 Pa de diferencia de presión como máximo, dependiendo de las circunstancias. La manera más eficaz de mantener una diferencia de presión mínima es medir constantemente la diferencia de presión entre el aire del interior y el aire del exterior y regular la ventilación sobre la base de los datos obtenidos.

El ahorro potencial de energía depende de la altura de la puerta. Las medidas muestran que cuando se utilizan en puertas de hasta 3,5 metros de alto, las cortinas de aire reducen la pérdida de energía hasta un 90%. Para puertas de más de 3,5 metros, los ahorros decrecen de forma proporcional a la altura de la puerta. Para puertas de 7 metros de altura, el ahorro potencial de energía puede bajar hasta un 30%.



*Ahorro de energía estimado con cortinas de aire en huecos de distinta altura en comparación con huecos equivalentes sin proteger. Fuente: FRICO*

### 3.15.2 Puertas rápidas automáticas

La instalación de puertas rápidas automáticas es otra opción válida para disminuir las pérdidas energéticas en pasos de puertas en naves industriales. Una aplicación característica de estos sistemas es las zonas de acceso y paso habitual de vehículos. En los momentos de mayor ritmo de paso las puertas manuales acaban abiertas de continuo, para evitar abrirlas y cerrarlas cada vez que se pasa por ellas. Para una puerta de 20 m<sup>2</sup> en una zona acondicionada de la nave, mantenerla abierta innecesariamente una hora al día puede suponer pérdidas energéticas de 75.000 kWh anuales.

Las puertas rápidas automáticas (normalmente enrollables, aunque también las hay plegables) permiten el acceso y salida a la nave a un ritmo apropiado sin necesidad de mantener las puertas abiertas permanentemente. Estas puertas disponen de sistemas de detección automática que minimiza la intervención del personal en los procesos de apertura y cierre. Además, el material de la puerta permite velocidades rápidas de ejecución.

## Los principales tipos de controles en puertas rápidas son:

Botones de accionamiento	Accionamiento manual del sistema. No aprovechan al completo las potencialidades de las puertas rápidas.
Cierre temporizado	Apertura manual de la puerta. Un control programable cierra la puerta si esta se deja abierta durante un período determinado de tiempo.
Control remoto	El usuario u operario utiliza un mando de control remoto para abrir y cerrar la puerta. Este sistema, al igual que los siguientes, es compatible con el cierre temporizado.
Sistema de inducción magnética	Un circuito de inducción en el suelo próximo a la puerta detecta la presencia de un objeto metálico o conductor y acciona el sistema que abre la puerta. Ésta se cierra tras un período de tiempo predeterminado sin detectar nada.
Detector de movimiento	La apertura de la puerta se activa con un detector de movimiento. Tras un período de tiempo predeterminado sin detectar movimiento la puerta se cierra.
Detector de infrarrojos	Similar al detector de movimiento. En este caso el sensor es una célula infrarroja.
PLC (Controlador lógico programable)	La apertura de la puerta se controla a través de un programa informático que tiene en cuenta parámetros como hora del día, actividades de producción, etc.
Célula de carga	La puerta se activa a través del peso ejercido sobre una célula de carga en el suelo. De esta manera sólo los vehículos accionan la puerta, no las personas. Éste es el sistema más caro, ya que necesita que el levantamiento del suelo para instalar la célula de carga.

Normalmente, por cuestiones de seguridad, la velocidad de cerrado de puertas suele ser inferior a la de apertura. Mientras que la velocidad de apertura puede llegar a los 3 m/s, la de cierre suele estar entre 0,1 y 0,8 m/s.

Las puertas tienen buenas características de estanqueidad. Las guías verticales están aisladas por medio de tiras de goma o de cepillo, y la parte baja de la hoja tiene una solapa flexible que permite un buen sellado con el suelo. El material de este tipo de puertas suele ser poliéster o PVC, aunque también las hay de lamas de aluminio.

## 4. PROCEDIMIENTO DE ACTUACIÓN

En este capítulo se va a describir de forma esquemática cuál debe ser el proceso de actuación a la hora de diseñar un sistema de climatización de una nave industrial desde un punto de vista energéticamente eficiente.

### 4.1 Determinación de las cargas de la nave. Optimización de la demanda

- Diseño de una envolvente con los valores óptimos de aislamiento. Un aumento en la inversión en el momento de la construcción de la nave de manera que se reduzca la demanda, puede suponer importantes ahorros en consumo a lo largo de toda la vida útil del edificio.
- Cálculo de las demandas de calefacción y refrigeración de la nave industrial. Un aspecto muy importante es la cuantificación de las cargas internas y dónde se producen.
- Identificación de los procesos industriales y la posibilidad de utilizar calores residuales para la calefacción de la nave. Para poder ser utilizados en calefacción de forma eficiente, la temperatura de salida de los fluidos caloportadores no debe superar los 200 °C. Algunos procesos cuyos calores residuales pueden ser utilizados para calefacción son:
  - Hornos de curado y secado.
  - Compresores de aire.
  - Condensación de vapor.
  - Refrigeración de equipos (soldadura, moldeado, conformado metálico).
- Determinación de la curva de suministro en aquellos procesos en los que se pueden aprovechar los calores residuales. Su comparación con la curva de demanda de calefacción determinará la demanda diferencial que se debe cubrir con equipos auxiliares.
- Determinación de posibles pérdidas por huecos abiertos al exterior o entre zonas que necesitan estar climatizadas frente a otras que no lo están. Reducir la demanda con la instalación de cortinas de aire o puertas rápidas.

## 4.2 Utilización de energías renovables

- Identificación de residuos del proceso productivo que pudieran ser utilizados como combustible en calderas de biomasa.
- Identificación de recursos del entorno de la nave que permitieran adquirir biomasa para calderas a bajo coste (entorno con importante masa forestal, residuos de procesos de empresas cercanas, etc.)
- Evaluación de la posibilidad de utilizar parte de la envolvente exterior de la nave como captador de aire caliente para calefacción.
- Otros sistemas de energías renovables no suelen ser eficientes si se dedican exclusivamente a climatización. Sin embargo, si los sistemas de energías renovables son necesarios para cubrir parte de la demanda del proceso productivo, se pueden utilizar para cubrir la demanda de climatización a bajo coste. Evaluar la posibilidad de esta utilización combinada en:
  - Sistemas de energía solar térmica por agua.
  - Sistemas de refrigeración por absorción.
  - Bombas de calor geotérmicas.

## 4.3 Selección de la caldera

- Selección de las características de la caldera una vez optimizada la demanda de la nave industrial.
- Estudiar la posibilidad de utilizar una misma caldera para el proceso industrial y calefacción y A.C.S., si las diferencias de temperatura no son grandes, y los tiempos de uso son coincidentes (en función del tipo de caldera, una caldera de proceso funcionando sólo para calefacción podría estar trabajando a muy baja carga, y por tanto con rendimientos muy bajos)
- Si no es posible utilizar residuos de proceso, o una caldera de biomasa no es una opción válida, el gas natural (si se tiene acceso) es un combustible que presenta más ventajas que el gasóleo.
- Ajustar la potencia de la caldera a la demanda real de la nave, teniendo en cuenta que el máximo rendimiento se obtiene cuando la caldera trabaja a plena carga:
  - Si está previsto un régimen con períodos importantes a carga parcial, contemplar la instalación de calderas de alto rendimiento (baja temperatura o condensación), que mantienen el alto rendimiento a baja carga.

- Evitar el sobredimensionamiento de calderas que funcionan casi todo el tiempo a carga parcial.
- Evaluar la utilización de variadores de frecuencia y motores de alta eficiencia en bombas y quemadores.
- Considerar el uso de sistemas de cogeneración en el caso de que exista demanda de calor durante todo el año (calderas de proceso que a la vez suministran calefacción y A.C.S.). Los sistemas de cogeneración en combinación con refrigeradores de absorción también pueden proporcionar frío en verano.
- Realizar un buen control en las calderas para que funcionen siempre con la máxima eficiencia.

#### 4.4 Sistemas de calefacción

- Seleccionar el sistema de calefacción de acuerdo al régimen de funcionamiento de la nave.
- Los paneles radiantes son la mejor opción en las naves donde haya muchas renovaciones de aire o continuas aperturas de puertas al exterior.
- Los paneles radiantes calientan “a línea de vista”. No son una buena opción en naves donde existen obstáculos en el camino de la radiación. Del mismo modo, cualquier material combustible debe estar alejado de la influencia de la radiación.
- Para una buena eficiencia de los aerotermos a alturas superiores a 4,5 metros es necesaria la instalación de ventiladores desestratificadores.
- Para una misma demanda energética, los paneles radiantes son más eficientes que los aerotermos, ya que proporcionan una sensación térmica equivalente con temperaturas de aire más bajas.
- Los aerotermos pueden servir también como emisores de frío. Además los aerotermos se pueden alimentar con calores residuales de proceso, ya que el fluido caloportador es agua, aceite o vapor, mientras que los paneles radiantes funcionan con un sistema de combustión o con alimentación eléctrica.

#### 4.5 Sistemas de ventilación y refrigeración

- Evaluar la posibilidad de cubrir la demanda de refrigeración de la nave con sistemas de ventilación natural o mecánica, empleando procesos de refrigeración nocturna o refrigeración gratuita (*night cooling* o *free-cooling*).

- Si las cargas térmicas son importantes y son necesarios sistemas de refrigeración, evaluar la utilización de sistemas de alta eficiencia, como los de enfriamiento evaporativo. Estos sistemas necesitan baja humedad relativa del aire y un número importante de renovaciones/hora de aire.
- Si es necesario un sistema de aire acondicionado, y no son viables o eficientes soluciones como las bombas de calor geotérmicas o las enfriadoras por absorción, elegir sistemas que permitan el free-cooling: distribución de aire frío (durante la noche o a primeras horas de la mañana) con un ventilador, sin utilizar el sistema de compresión.
- Utilizar variadores de frecuencia en ventiladores y motores.

## **4.6 Sistemas de distribución**

- Diseñar el sistema de distribución de forma que aquellos conductos que den servicio a zonas que demandan calor o frío de forma no continuada puedan ser aislados cuando no estén en funcionamiento.
- Diseñar correctamente el sistema de distribución. Un sobredimensionamiento aumentaría las pérdidas térmicas. Evitar un excesivo número de codos o reducciones de diámetro innecesarias.
- Asegurar el correcto aislamiento de todos los conductos. Utilizar el espesor económico para los aislantes en los conductos.



**MEJORA DE LA EFICIENCIA  
ENERGÉTICA EN NAVES  
CONSTRUIDAS**

# ÍNDICE

## MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN NAVES CONSTRUIDAS

1.- AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	121
1.1.- Consumos energéticos .....	121
1.2.- Envolvente .....	122
1.3.- Calderas .....	123
1.4.- Emisores de calor .....	125
1.5.- Sistemas de ventilación y refrigeración ambiental .....	127
1.6.- Conductos y sistemas de distribución .....	129
1.7.- Sistemas de recuperación de calor .....	130
2.- CÁLCULO Y ANÁLISIS DE INVERSIONES .....	132
2.1.- Opción 1. Instalación de un nuevo sistema en una nave .....	132
2.2.- Opción 2. Sustitución de un equipo ya existente en una nave por otro....	132
2.3.- Ejemplos .....	134
3.- CONSUMO ENERGÉTICO EN INDUSTRIAS .....	136

En este capítulo se van a abordar las posibilidades de mejora de la eficiencia energética en naves industriales ya construidas. Para ello se van a dar pautas de trabajo, indicando qué elementos hay que controlar, cómo se controlan o se auditan estos elementos, y qué medidas se pueden aplicar para mejorar la eficiencia energética de las instalaciones de climatización en la nave. Este procedimiento de actuación está orientado al jefe de mantenimiento de la nave industrial, aunque en algunos casos será necesaria la intervención de empresas especialistas en auditorías energéticas (por ejemplo, cuando sea necesaria la utilización de equipamiento especializado, no habitual en los procesos industriales).

A continuación se detalla punto por punto cada uno de los elementos sobre el que realizar la auditoría, así como qué medidas de mejora se puede aplicar en cada caso. Aunque no se indique, ya que es común a todos los elementos, uno de los puntos que debe ser revisado en la auditoría energética es el parte de mantenimiento de cada uno de los equipos o sistemas. Hay que tener en cuenta que los costes de mantenimiento asociados a un equipo deben ser considerados a la hora de valorar su sustitución por otro más eficiente. Por eso es importante en la auditoría energética conocer la vida de cada uno de los equipos. Si ha agotado su vida útil, un equipo está amortizado, pero a la vez se produce un aumento de los costes de mantenimiento y una disminución de su rendimiento, lo que aconseja la evaluación de su sustitución.

## **1.1 Auditoría Energética**

### **1.1.1. Consumos energéticos**

Constituyen el punto de partida de toda auditoría energética. Permite comprobar el nivel de consumo y su adecuación con las instalaciones.

#### ***Qué mirar***

- La principal fuente de información son las facturas eléctricas y de combustible. En naves industriales es frecuente que los consumos de climatización estén unidos al consumo de los procesos productivos. En este caso será necesario realizar mediciones que separen estos consumos.

- El cómputo de los consumos debe abarcar un mínimo de uno o dos años consecutivos.

### **Herramientas**

- Para discriminar los consumos eléctricos se pueden utilizar equipos de análisis de redes y contadores eléctricos, que se colocan en cabeza del sistema de climatización en general, o bien en cabeza de cada uno de los equipos que interese evaluar.
- Si no están discriminados los contratos entre sistemas de climatización y de proceso productivo, será necesario medir estos consumos, ya que no se pueden calcular por medio de las facturas. Los consumos de combustible se miden con contadores de energía o de calorías situados en cabeza de los circuitos de calefacción. Este sistema también se utiliza para controlar el suministro de energía cuando se están aprovechando calores residuales del proceso industrial.

### **Medidas de mejora**

Oportunidad de mejora	Medida
Los contratos de suministro eléctrico o de combustible no son acordes a la potencia y el consumo real en la nave.	Optimización de la contratación a las potencias y demandas reales de uso.
En función de las horas de trabajo, potencia nominal, carga de los equipos y rendimiento, se observa que el consumo real no coincide con el de diseño del equipo.	Realizar un estudio detallado de las razones de las ineficiencias en los equipos, que darán lugar a su sustitución, recambio de elementos, mejora de la regulación, etc. <sup>12</sup>

## **1.2 Envolvente**

La optimización de la envolvente reducirá la demanda de la nave y mejorará su eficiencia energética.

### **Qué mirar**

- Estado general de la envolvente, con principal atención en las zonas de encuentro entre distintas fábricas, o entre fábrica y acristalamientos, en busca de infiltraciones o deficiencias en el sellado.
- Estado de puertas y ventanas, vigilando que los cierres sean herméticos.
- Revisión de posibles deficiencias en el aislante de la envolvente.

<sup>12</sup> En cada uno de los sistemas o equipos se detallan más adelante las posibles mejoras que se pueden llevar a cabo.

## Herramientas

- Existen diversos métodos de detección de infiltraciones (Blower Door o detección con gases trazadores); sin embargo, sólo pueden ser utilizados en naves de tamaño reducido (hasta 1.000 - 2.000 m<sup>3</sup>). En la mayoría de los casos estas detecciones se realizan a simple vista (o por consulta a los operarios que trabajan en la zona afectada)
- La termografía infrarroja permite identificar fallos en el aislamiento en fachadas y cubiertas. También es útil para identificar zonas de infiltración de aire, aunque no permite cuantificar el caudal de la infiltración.

## Medidas de mejora

Oportunidad de mejora	Medida
Defectos o fallos de sellado en juntas o encuentros entre fábricas.	Sellado de las zonas donde se produzcan infiltraciones.
Puertas o ventanas defectuosas.	Reparar los huecos defectuosos. Las pérdidas de calor por un exceso de renovación del aire de forma incontrolada pueden aumentar el consumo en calefacción en más de un 100%. Instalar cristales dobles.
Defectos en el aislante.	Reponer el aislante en las zonas defectuosas.
Insuficiencia de aislante en cubierta o fachadas, que al final supone un alto consumo en climatización.	Incorporación de aislante a la parte de la envolvente afectada (por proyección, trasdosado, etc.). Estas medidas suelen ser costosas y necesitan de un correcto análisis de ahorro e inversión.
Fachadas o cubiertas muy soleadas.	Evaluar la posibilidad de aprovechamiento térmico de la energía solar para calentar agua o aire. Colocar sombras artificiales en ventanas soleadas en verano.
Huecos fuera de uso.	Eliminar aberturas no usadas en techos. Eliminar chimeneas que no estén en uso.

## 1.3 Calderas

Es uno de los sistemas principales de generación de calor. Un funcionamiento ineficiente puede dar lugar a importantes sobrecostes energéticos.

### Qué mirar

- Tipo de combustible.
- Año de fabricación e instalación.

- Potencia nominal.
- Rendimiento.
- Horas de funcionamiento.
- Sistemas de regulación.
- Tipo de quemador y características.

### **Herramientas**

- Un analizador de combustión permite medir la calidad de la mezcla de combustión y el rendimiento real de la caldera.
- La energía producida por la caldera se puede medir con un contador de calorías en las tuberías de impulsión del agua caliente.
- La termografía infrarroja permite identificar defectos en el aislamiento de calderas.

### **Medidas de mejora**

Oportunidad de mejora	Medida
Bajo rendimiento. Esto puede ser debido a diversas causas: - Mala regulación de la combustión. - Caldera en mal estado. - Caldera sobredimensionada que trabaja a baja carga.	Ajustar la combustión de la caldera. Sustituir el quemador por quemador modulante con analizador de oxígeno. Renovar la caldera (tras análisis de ahorro – inversión)
Coste elevado del combustible (el precio por kWh de GLP es más caro que el de gas natural)	Sustituir, si es posible, el suministro de gasóleo por gas natural. Esto supone un cambio de quemador y puede suponer la sustitución de la caldera, y conlleva costes añadidos de acondicionamiento de la sala de calderas e infraestructuras.
Reducción de consumo eléctrico.	Utilización de variadores de velocidad en ventiladores y bombas. Aunque en calderas para calefacción el consumo de ventiladores y bombas es bastante bajo.
Reducción del consumo.	Reducir las temperaturas de consigna en meses intermedios. Al bajar las temperaturas de operación se reduce el consumo.

## 1.4 Emisores de calor

En este apartado se establecen las actuaciones de auditoría energética para los distintos tipos de emisores de calor que se pueden hallar en una nave industrial: aerotermos, paneles radiantes, convectores, etc.

### *Qué mirar*

- Tipo de suministro energético (combustible o electricidad)
- Año de fabricación e instalación.
- Potencia nominal.
- Rendimiento / C.O.P.
- Horas de funcionamiento.
- Sistemas de regulación.
- Altura de instalación.
- Renovaciones/hora en la nave.
- Tipo de sistema (centralizado o individual)
- Temperaturas en zonas de trabajo y a distintas alturas de la nave.
- Caudal de agua en sistemas alimentados con agua caliente.
- Energía consumida.

### *Herramientas*

- Un analizador de combustión permite medir la calidad de la mezcla de combustión en sistemas alimentados por combustible, como los paneles radiantes.
- Un contador de calorías permite la medición del paso de energía por los conductos.
- La potencia de elementos eléctricos se puede medir con un multímetro o un analizador de redes.
- Las sondas de temperatura permiten una monitorización continua de las evoluciones de temperatura en distintos puntos de la nave.

## Medidas de mejora

Oportunidad de mejora	Medida
<p>El sistema de calefacción consume anualmente más energía que la que correspondería de acuerdo con el cálculo de cargas térmicas.</p>	<p>Bajo rendimiento de la instalación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Renovar equipos.</li> <li>- Optimizar la combustión en caso de equipos que funcionan con combustible.</li> <li>- Revisar y mejorar en su caso el aislamiento en conductos.</li> </ul> <p>Sistema de calefacción inadecuado:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Instalar desestratificadores con aerotermos situados por encima de 4,5 metros.</li> <li>- Sustitución de aerotermos por paneles radiantes en naves con mucho movimiento de aire.</li> </ul> <p>Mejorar el control en los sistemas de apertura y cierre de huecos para evitar intercambios innecesarios de aire con el exterior en los meses fríos. Limitar el acceso a los controles de los sistemas de calefacción sólo a personal autorizado.</p>
<p>Elevado consumo por una mala distribución de emisores individuales eléctricos cuyo número ha ido creciendo con la actividad de la nave.</p>	<p>Evaluar la posibilidad de cambiar a un sistema de emisión distribuido con aerotermos o paneles radiantes, a ser posible alimentado con gas natural.</p>
<p>Calefacción de zonas de no trabajo.</p>	<p>Zonificación. Separación en la medida de lo posible de las zonas de trabajo de las que no requieren calefacción</p> <p>Utilización de sistemas de calefacción dirigida, como los paneles radiantes, eliminando o clausurando los que no se utilizan.</p>
<p>Desajustes entre la curva de producción de calor y la curva de demanda.</p>	<p>Ajuste del sistema de regulación de calefacción de forma que la producción de calor coincida exactamente con las horas de ocupación de la nave.</p> <p>En caso de que distintas zonas tengan horarios de demanda distintos, utilizar sistemas de control y regulación individual para cada zona.</p>
<p>Temperatura elevada en la zona alta de la nave, que causa pérdidas de calor a través de cubierta.</p>	<p>Utilización de ventiladores desestratificadores que impulsen de nuevo el aire caliente a la zona de trabajo</p>

## 1.5 Sistemas de ventilación y refrigeración ambiental

No es habitual encontrar sistemas de aire acondicionado en naves industriales. Por esta razón, es necesario contar con un sistema de ventilación eficiente que permita una refrigeración adecuada de las zonas de trabajo de la nave. Aún así, en algunos casos puede llegar a ser necesaria la instalación de pequeñas unidades de aire acondicionado.

### Qué mirar

- Año de fabricación e instalación.
- Potencia de los ventiladores.
- Sistema de control de ventiladores.
- Conductos, compuertas, respiraderos, etc.
- Temperatura de salida del aire expulsado.
- Horario de funcionamiento de la ventilación.
- Tipo de sistema de aire acondicionado (individual, centralizado, etc.)
- Potencia frigorífica.
- Modo de intercambio de calor (aire-aire, agua-agua, aire-agua, agua-aire)
- Caudales de agua y aire.
- Tipo de refrigerante.
- Posibilidad de refrigeración gratuita (*free-cooling*) en equipos de aire acondicionado.

### Herramientas

- Medidores de caudal para aire y agua.
- Analizador de redes o multímetro para medir las potencias y consumos en equipos eléctricos.

## Medidas de mejora

Oportunidad de mejora	Medida
Mejorar la eficiencia de sistemas de refrigeración.	<p>Utilizar en la medida de lo posible sistemas de ventilación para refrigerar la nave (frente al aire acondicionado)</p> <p>Enfriar la nave en las primeras horas de la mañana con sistemas <i>free cooling</i> (el aire exterior es más frío que el interior), evitando encender las enfriadoras.</p> <p>Eliminar posibles obstáculos en el camino del aire de refrigeración.</p> <p>Aumentar la temperatura de consigna de refrigeración.</p> <p>Limitar el acceso a los controles de los sistemas de refrigeración sólo a personal autorizado.</p> <p>Reducir la velocidad de impulsión del aire.</p> <p>Utilizar ventiladores con variadores de frecuencia, y equipos de aire acondicionado con sistemas inverter.</p>
Nave con muchas infiltraciones o apertura continua de huecos.	<p>En ambientes con humedad relativa baja, los sistemas de climatización adiabática son los más eficientes cuando las renovaciones de aire son muy elevadas.</p> <p>Instalar cortinas de aire en las puertas de paso continuo.</p>
Desajustes entre la curva de producción de frío y la curva de demanda.	<p>Ajuste del sistema de regulación de refrigeración de forma que la producción de frío coincida exactamente con las horas de demanda de la nave.</p> <p>En caso de que distintas zonas tengan horarios de demanda distintos, utilizar sistemas de control y regulación individual para cada zona.</p>
Refrigeración de zonas de no trabajo o con excesiva producción de calor.	<p>Zonificación. Separación en la medida de lo posible de las zonas de trabajo de las que no requieren refrigeración ambiental.</p> <p>Minimizar el uso de equipos generadores de calor (siempre que lo permita el proceso productivo) en zonas de presencia de personal.</p> <p>Mejorar los sistemas de evacuación de calor en equipos, de manera que éste no se disipe al ambiente.</p>
Temperatura elevada de salida del aire de climatización.	<p>Evaluar la posibilidad de instalar un recuperador de calor que aproveche esta energía para precalentar el aire de entrada.</p>

## 1.6 Conductos y sistemas de distribución

Una correcta vigilancia y mantenimiento de los sistemas de conducción de los fluidos de calefacción y refrigeración aseguran la máxima eficiencia del sistema. En ocasiones, los esfuerzos se concentran en sistemas de generación de muy alto rendimiento, y se pierde la energía al transportar el calor por conductos con un mal aislamiento. La inspección se debe realizar a lo largo de todo el conducto, desde su salida de la caldera o generador hasta su conexión con el sistema de emisión.



*Termografía que muestra las diferencias de temperatura exterior en tuberías no aisladas de impulsión (rojo) y de retorno (verde) de calefacción.*

### **Qué mirar**

- Horas de funcionamiento.
- Material de los conductos.
- Dimensiones y espesor de los conductos.
- Material aislante.
- Espesor del material aislante.
- Temperaturas del agua o fluidos caloportantes.
- Fugas en los conductos.
- Defectos en el aislamiento.
- Caudales y energías transportadas por los conductos.

### Herramientas

- La termografía infrarroja permite detectar zonas de fugas o defectos en el aislamiento en conductos.
- Caudalímetro para medir el caudal de fluidos en los conductos.
- Contador de calorías para cuantificar la energía que pasa por la sección de un conducto.
- Sondas de temperatura para medir la temperatura de los fluidos.

### Medidas de mejora

Oportunidad de mejora	Medida
Pérdidas de carga calorífica en conductos.	Optimizar el aislamiento al espesor económico.
Defectos en el aislante. Zonas del conducto sin aislante.	Recubrir o recuperar las zonas afectadas.
Fugas en conductos.	Sellado de fugas.

## 1.7 Sistemas de recuperación de calor

Los sistemas de recuperación de calor son ya una mejora en sí mismos, al aprovechar el calor sobrante de proceso o de climatización para, en el ámbito del alcance de este manual, reducir los consumos en calefacción o refrigeración. Hay que tener en cuenta que la mayor parte de los procesos de recuperación de calor se utiliza para realimentar el propio proceso productivo. Sin embargo, existen procesos donde se puede recuperar calor a baja y media temperatura que puede ser aprovechado para el sistema de climatización.

### Qué mirar

- Horas de funcionamiento.
- Procesos donde se recupera el calor.
- Características y eficiencia de los equipos recuperadores de calor.
- Temperaturas y caudal de entrada y salida del aporte de calor.
- Temperaturas y caudal de entrada y salida del calor recuperado.
- Medidas de caudal y temperatura en fluidos de procesos y equipos que extraigan calor:

- Compresores de aire.
- Sistemas de refrigeración de procesos o equipos.
- Salidas de aire o agua de climatización.

### **Herramientas**

- Caudalímetro para medir el caudal de fluidos.
- Contador de calorías para cuantificar la energía que pasa por la sección de un conducto.
- Sondass de temperatura.

### **Medidas de mejora**

Oportunidad de mejora	Medida
En algunos momentos el calor producido en los sistemas de recuperación supera la demanda.	Almacenar el calor sobrante (en ocasiones es necesario un circuito secundario de intercambio) en un sistema de almacenamiento térmico (depósito de agua, por ejemplo)
En momentos puntuales el calor producido en los sistemas de recuperación no cubre la demanda.	Instalar sistemas de apoyo diseñados para cubrir esos momentos. Utilizar el calor almacenado en los momentos en los que el suministro superaba la demanda.
Existen sistemas o equipos que eliminan calor y no se aprovecha.	Evaluar la posibilidad de instalar alguno de los sistemas de recuperación de calor. Como norma general, por encima de 200 °C de temperatura de salida suele ser más eficiente reutilizar el calor recuperado en el propio proceso industrial que en sistemas de calefacción o refrigeración.

## 2. CÁLCULO Y ANÁLISIS DE INVERSIONES

A continuación se detalla el proceso de cálculo de inversiones y ahorros energéticos que sirve de apoyo a la hora de seleccionar un sistema de climatización en una nave industrial.

### 2.1 Opción 1. Instalación de un nuevo sistema en una nave

**Paso 1.** Determinación de la inversión necesaria, incluyendo equipo, accesorios e instalación.

**Paso 2.** Determinación de la vida útil del nuevo sistema. La tabla adjunta muestra los ciclos de vida característicos de distintos sistemas y equipos de climatización. **V**

**Paso 3.** Período de amortización contable anual de la inversión  $P_A$ . Un dato de referencia puede ser de 18 años. Si la vida útil es inferior el período de amortización lo determina el valor **V** de vida útil.

**Paso 4.** Determinación del consumo anual del sistema seleccionado. **C(kWh)**

**Paso 5.** Cálculo del coste anual debido al consumo energético:

$$T = C \cdot \text{Coste } (\text{€/kWh})$$

**Paso 6.** Determinación del coste de mantenimiento preventivo anual. La tabla adjunta muestra una estimación de los costes de mantenimiento para distintos equipos y sistemas. **M**

**Paso 7.** Valoración del coste anual del equipo o sistema:

$$\text{Coste anual} = \frac{I}{P_A} + T + M$$

### 2.2 Opción 2. Sustitución de un equipo ya existente en una nave por otro

En este caso es necesario evaluar no sólo el coste del nuevo equipo (que se evalúa según el procedimiento establecido en la opción 1, sino el coste o el ahorro que implica la sustitución del equipo en funcionamiento.

**Paso 1.** Determinación del coste anual de servicio del nuevo equipo de acuerdo con el procedimiento establecido en la opción 1.

**Paso 2.** Determinación del coste del equipo instalado que falta por amortizar, en función del año de compra. **R**

**Paso 3.** Costes de mantenimiento anual del equipo instalado.  $M'$

**Paso 4.** Cálculo del coste anual debido al consumo energético del equipo instalado

$$T' = C' \cdot \text{Coste}' (\text{€/kWh})$$

**Paso 5.** Cálculo de la diferencia de coste anual por la renovación del equipo debido a costes de mantenimiento y consumo

$$A = T' + M' - T - M$$

**Paso 6.** Cálculo del período de retorno simple de la nueva inversión, teniendo en cuenta:

- Costes de mantenimiento.
- Costes de consumo.
- Posibles costes de sustitución de un equipo no amortizado.

$$PR = \frac{I + R}{T' + M' - T - M}$$

**Tabla. Ciclo de vida y costes de mantenimiento para equipos y sistemas de climatización. Fuente UNE-EN 15459<sup>13</sup>**

Equipo	Ciclo de vida (años)	Mantenimiento preventivo anual, que incluye costes de funcionamiento, reparación y servicio (% sobre el coste de inversión inicial)
Unidades de aire acondicionado	15	4
Refrigeradores por aire	15 – 20	2
Calentadores por aire	15 – 20	2
Calderas	20	1 – 2
Quemadores	10	4 – 6
Condensadores	20	2
Convectores	20	1
Compresores para refrigeración	15	4
Compuertas	20	1
Compuertas con control motorizado	15	4
Conductos para aire filtrado	30	2
Conductos para aire sin filtrar	30	6

<sup>13</sup> UNE-EN 15459:2008. Eficiencia energética de los edificios. Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios.

(continuación)

Equipo	Ciclo de vida (años)	Mantenimiento preventivo anual, que incluye costes de funcionamiento, reparación y servicio (% sobre el coste de inversión inicial)
Evaporadores	15 – 20	2
Rejillas de extracción de aire	20	10
Unidades fan coil	15	4
Ventiladores	15 – 20	4
Ventiladores con variación de frecuencia	15	6
Depósitos (gasóleo o gas)	30	0,5
Bombas de calor	15 – 20	2 – 4
Unidades de recuperación de calor	15 – 20	4
Tuberías de cobre	30	1
Tuberías de composite	50	1
Tuberías de acero	15 - 30	1
Coletores solares	15 – 25	0,5

## 2.3 Ejemplos

### EJEMPLO 1

En una nave de nueva construcción se plantea la necesidad de instalar una caldera. Se van a utilizar las mismas condiciones de diseño que las del ejemplo del capítulo de calderas. La potencia demandada es de 300 kW, para un consumo anual de 223.410 kWh útiles en calefacción. El edificio tiene acceso a gas natural, y se plantean tres alternativas:

- Caldera convencional de gasóleo.
- Caldera convencional de gas natural.
- Caldera de condensación de gas natural.

En la siguiente tabla se muestran los pasos de cálculo para cada una de las calderas:

		Gasoil	Gas natural convencional	Gas natural condensación
A	Inversión necesaria en equipo e instalación (€)	58.600	73.000	84.400
B	Vida útil de las calderas (años)	20	20	20
C	Período de amortización (años)	18	18	18
D	Coste anual de amortización del equipo (A/C) (€)	3.256	4.056	4.689
E	Rendimiento de la caldera	85%	85%	95%
F	Consumo anual de la caldera (kWh)	262.835	262.835	235.168
G	Coste del combustible (€/kWh)	0,05	0,04	0,04
H	Coste anual en consumo (F x G) (€)	13.142	10.513	9.407
I	Coste anual del mantenimiento (€)	1.172	1.095	1.266
J	<b>Coste anual total (D + H + I) (€)</b>	<b>17.570</b>	<b>15.664</b>	<b>15.362</b>

Aunque la caldera de gas natural de condensación es la propuesta de mayor coste, su alto rendimiento y el menor coste del gas natural frente al gasóleo la hacen la propuesta más eficiente.

## EJEMPLO 2

Se parten de las mismas condiciones de contorno que en el ejemplo anterior. En este caso se trata de una nave con una caldera de gasóleo de 23 años de antigüedad. Todavía funciona a buen rendimiento (80%), aunque los costes de mantenimiento se han duplicado. Se plantea la posibilidad de sustituirla por una caldera más eficiente y se trata de calcular en cuánto tiempo se amortizará la inversión con los ahorros energéticos y de mantenimiento.

		Gasoil	Gas natural convencional	Gas natural condensación
A	Coste remanente de amortización del equipo existente (€)	0		
B	Coste de mantenimiento del equipo actual (€)	2.344		
C	Rendimiento de la caldera actual	80%		
D	Consumo anual de la caldera actual (kWh)	279.262		
E	Coste del combustible (€/kWh)	0,05		
F	Coste anual en consumo (D x E) (€)	13.963		
G	Coste de instalación del nuevo equipo (€)	35.160 <sup>14</sup>	73.000	84.400
H	Coste anual en consumo del nuevo equipo (€)	13.142	10.513	9.407
I	Coste anual del mantenimiento del nuevo equipo (€)	1.172	1.095	1.266
J	Ahorro anual del nuevo equipo con respecto al antiguo (B + F - H - I) (€)	1.993	4.699	5.634
K	<b>Período de retorno simple de la inversión ((G + A)/J) (años)</b>	<b>17,6</b>	<b>15,5</b>	<b>15,0</b>

En todos los casos la inversión se amortiza con los ahorros energéticos y de mantenimiento antes del final de su vida útil (20 años)

<sup>14</sup> El coste de instalación de la nueva caldera de gasoil se ve reducido ya que se reutilizan muchos de los elementos y accesorios de la antigua caldera.

### EJEMPLO 3

En este caso tercer ejemplo se va a estudiar la sustitución de una caldera de gasoil durante su período de vida útil (10 años desde su instalación, manteniendo los costes de mantenimiento y un rendimiento del 85%) por una de gas natural. Se va a calcular cuál sería el período de retorno de la inversión si ésta se amortizase con los ahorros energéticos y en mantenimiento.

		Gas natural convencional	Gas natural condensación
A	Coste remanente de amortización del equipo existente (€) (Cálculo lineal)	Coste inicial: 58.600 € Período amortización: 18 años Edad del equipo: 10 años Coste remanente: $58.600 \times (18 - 10) / 18 = 26.044$	
B	Coste de mantenimiento del equipo actual (€)	1.172	
C	Rendimiento de la caldera actual	85%	
D	Consumo anual de la caldera actual (kWh)	262.835	
E	Coste del combustible (€/kWh)	0,05	
F	Coste anual en consumo (D x E) (€)	13.142	
G	Coste de instalación del nuevo equipo (€)	73.000	84.400
H	Coste anual en consumo del nuevo equipo (€)	10.513	9.407
I	Coste anual del mantenimiento del nuevo equipo (€)	1.095	1.266
J	Ahorro anual del nuevo equipo con respecto al antiguo (B + F - H - I) (€)	2.706	3.641
K	Período de retorno simple de la inversión ((G + A)/J) (años)	36,6	30,3

En este caso, aunque se pase a calderas eficientes, no parece que sea una inversión rentable desde un punto de vista estrictamente económico.

## 3. Consumo energético en industrias

Para evaluar la importancia de los consumos en la climatización de naves, a continuación se muestran unos datos estimativos del porcentaje de consumo destinado a los servicios del edificio (alumbrado y climatización) con respecto al total, de distintos tipos de industria.

Industria	Electricidad (%)	Combustible (%)
Agricultura, forestal, pesca	16%	5%
Química	8%	2%
Aluminio	3%	3%
Cemento	0%	0%
Componentes electrónicos	40%	30%
Acería de arco eléctrico	8%	4%
Fabricación de productos metálicos	19%	20%
Alimentación, bebidas, tabaco	15%	5%
Fundición	15%	14%
Fabricación de muebles	16%	5%
Vidrio y derivados	8%	3%
Maquinaria pesada	35%	51%
Productos minerales no metálicos	16%	5%
Derivados del petróleo y del gas	16%	5%
Refinería	8%	1%
Productos poliméricos	16%	14%
Imprentas	16%	5%
Textil	22%	7%
Equipos de transporte	29%	38%
Derivados de la madera, pulpa, papel	7%	1%
Otros	16%	5%

Fuente: Quick Plant Energy Profiler. U.S. DOE



# 3

**GESTIÓN Y  
MANTENIMIENTO**

# ÍNDICE

## GESTIÓN y MANTENIMIENTO

1.- MANTENIMIENTO .....	141
2.- GESTIÓN ENERGÉTICA: CONTROL Y CONTABILIZACIÓN DE CONSUMOS.....	144
2.1.- Ejemplo de aplicación .....	149

## 1. MANTENIMIENTO

Las operaciones de mantenimiento son, sin lugar a dudas, el factor más importante en el objetivo de un uso adecuado de las instalaciones de calefacción y A.C.S., en especial desde el punto de vista de su eficiencia energética.

No sirve de gran cosa tener los mejores equipos y materiales, con todo lujo de dispositivos de regulación y control, si todo ello no está debidamente manejado, supervisado y mantenido por personas expertas y con las ideas claras sobre la racionalización del consumo de energía.

Debe diseñarse un programa específico de mantenimiento de las instalaciones térmicas de climatización en naves y almacenes industriales, que deberá contener la programación de las tareas necesarias, así como los procedimientos de documentación y archivo de todas las actuaciones preventivas y de reparación que tengan lugar en cada instalación concreta. Los programas de mantenimiento, así como los registros previstos en ellos, permitirán comprobar que se mantienen las prestaciones previstas en cada instalación.

El plan de mantenimiento preventivo, basado en la aplicación de tareas, métodos y procedimientos, ha de contemplar las siguientes etapas:

- Recopilación de información técnica de las instalaciones.
- Realización de un inventario de las instalaciones sujetas a mantenimiento.
- Confección y cumplimentación de fichas técnicas específicas de cada elemento.
- Establecimiento de los protocolos de revisión de cada equipo o conjunto.
- Adaptación de las frecuencias de intervención para asegurar el funcionamiento correcto de las instalaciones y para garantizar los rendimientos óptimos.
- Planteamiento del servicio, incluyendo los conceptos económicos, tiempos de intervención, informes periódicos y partes de trabajo, recursos técnicos, humanos y materiales.
- Perfeccionamiento de planes y protocolos.

Las tareas de mantenimiento de una instalación térmica, y su periodicidad, son muy variables en función de los equipos existentes y su utilización. Se presenta a continuación una tabla de operaciones de mantenimiento preventivo y su periodicidad. Las frecuencias deben adaptarse en cada caso, considerando las aquí relacionadas como un listado de mínimos.

**Tabla: Operaciones de mantenimiento preventivo de instalaciones térmicas y su periodicidad**

Operación	<70 kW	>70 kW
Limpieza de los evaporadores.	†	†
Limpieza de los condensadores.	†	†
Drenaje, limpieza y tratamiento del circuito de torres de refrigeración.	†	2†
Comprobación de la estanqueidad y niveles de refrigerante y aceite en equipos frigoríficos.	†	m
Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas.	†	2†
Comprobación y limpieza, si procede, de conductos de humos y chimenea.	†	2 †
Limpieza del quemador de la caldera.	†	m
Revisión del vaso de expansión.	†	m
Revisión de los sistemas de tratamiento de agua.	†	m
Comprobación de material refractario.	–	2†
Comprobación de estanqueidad de cierre entre quemador y caldera.	†	m
Revisión general de calderas de gas.	†	†
Revisión general de calderas de gasóleo.	†	†
Comprobación de niveles de agua en circuitos.	†	m
Comprobación de estanqueidad de circuitos de tuberías.	–	†
Comprobación de estanqueidad de válvulas de interceptación.	–	2 †
Comprobación de tarado de elementos de seguridad.	–	m
Revisión y limpieza de filtros de agua.	–	2 †
Revisión y limpieza de filtros de aire.	†	m
Revisión de baterías de intercambio térmico.	–	†
Revisión de aparatos de humectación y enfriamiento evaporativo.	†	m
Revisión y limpieza de aparatos de recuperación de calor.	†	2†
Revisión de unidades terminales de agua – aire.	†	2†
Revisión de unidades terminales de distribución de aire.	†	2†
Revisión y limpieza de unidades de impulsión y retorno de aire.	†	†
Revisión de equipos autónomos.	†	2†
Revisión de bombas y ventiladores.	–	m
Revisión del sistema de preparación de agua caliente sanitaria.	†	m
Revisión del estado del aislamiento térmico.	†	†
Revisión del sistema de control automático.	†	2†
Revisión de aparatos exclusivos para la producción de agua caliente sanitaria de potencia térmica nominal <= 24,4 kW.	4a	–
Instalación de energía solar térmica	*	*
Comprobación del estado de almacenamiento del biocombustible sólido.	s	s
Apertura y cierre del contenedor plegable en instalaciones de biocombustible sólido.	2†	2†
Limpieza y retirada de cenizas en instalaciones de biocombustible sólido.	m	m
Control visual de la caldera de biomasa.	s	S
Comprobación y limpieza, si procede, de circuito de humos de calderas y conductos de humos y chimeneas en calderas de biomasa.	†	m
Revisión de los elementos de seguridad en instalaciones de biomasa.	m	m

*s: Una vez por semana.*

*m: Una vez al mes; la primera al inicio de la temporada.*

*t: Una vez por temporada (año)*

*2t: Dos veces por temporada (año); una al inicio de la misma y otra a la mitad del periodo de uso, siempre que haya una diferencia mínima de dos meses entre ambas.*

*4a: Cada cuatro años.*

*\*: El mantenimiento de estas instalaciones se realizará de acuerdo con lo establecido en la Sección HE4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” del Código Técnico de la Edificación.*

Pueden consultarse programas genéricos de actuaciones y frecuencias recomendadas en la “Guía técnica: Mantenimiento de instalaciones térmicas”, editada por el IDAE.

Dentro del plan de mantenimiento se ha de incluir un análisis y evaluación periódica del rendimiento de los equipos generadores de calor y de los equipos generadores de frío. Se propone a continuación una batería de medidas, en función de la potencia térmica nominal instalada, recordando que es recomendable medir y registrar los valores, de acuerdo con las operaciones y periodicidades indicadas en las tablas siguientes.

**Tabla: Medida de generadores de calor y su periodicidad**

Medidas de generadores de calor		Periodicidad		
		20 kW < P ≤ 70 kW	70 kW < P < 1000 kW	P > 1000 kW
1	Temperatura o presión del fluido portador en entrada y salida del generador de calor.	2a	3m	m
2	Temperatura ambiente del local o sala de máquinas.	2a	3m	m
3	Temperatura de los gases de combustión.	2a	3m	m
4	Contenido de CO y CO <sub>2</sub> en los productos de combustión.	2a	3m	m
5	Índice de opacidad de los humos en combustibles sólidos o líquidos y de contenido de partículas sólidas en combustibles sólidos.	2a	3m	m
	Tiro en la caja de humos de la caldera.	2a	3m	m

*m: Una vez al mes.*

*3m: Cada tres meses, la primera al inicio de la temporada.*

*2a: Cada dos años.*

En la evaluación del rendimiento del generador de calor, éste deberá tener un valor no inferior a 2 unidades con respecto al determinado en la puesta en servicio.

**Tabla: Medidas de generadores de frío y su periodicidad.**

Medidas de generadores de frío		Periodicidad	
		70 kW < P <= 1.000 kW	P>1.000 kW
1	Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del evaporador.	3m	m
2	Temperatura del fluido exterior en entrada y salida del condensador.	3m	m
3	Pérdida de presión en el evaporador en plantas enfriadas por agua.	3m	m
4	Pérdida de presión en el condensador en plantas enfriadas por agua.	3m	m
5	Temperatura y presión de evaporación.	3m	m
6	Temperatura y presión de condensación.	3m	m
7	Potencia eléctrica absorbida.	3m	m
8	Potencia térmica instantánea del generador, como porcentaje de la carga máxima.	3m	m
9	CEE o COP instantáneo.	3m	m
10	Caudal de agua en el evaporador.	3m	m
11	Caudal de agua en el condensador.	3m	m

*m: Una vez al mes; la primera al inicio de la temporada.*

*3m: Cada tres meses; la primera al inicio de la temporada.*

El seguimiento de las tareas incluidas en el plan de mantenimiento específico de las instalaciones asegurará un rendimiento óptimo, aumentará la vida útil de los equipos y redundará en una reducción de los costes de explotación.

## **2. Gestión energética: control y contabilización de consumos**

La implantación de un sistema de gestión energética cumple un doble objetivo, la contabilización de consumos y la implantación de una herramienta de gestión energética.

Los cambios normativos han dado una nueva orientación a las instalaciones de climatización, haciendo énfasis en la gestión energética y contabilización de consumos. El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE),



establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y A.C.S., para conseguir un uso racional de la energía.

Las exigencias en eficiencia energética que establece el RITE, se concretan en:

- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Sistemas obligatorios de contabilización de consumos, que permitan el cálculo de ratios y rendimientos estacionales.
- Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial la energía solar y la biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y el aprovechamiento de energías residuales.
- Desaparición gradual de combustibles sólidos más contaminantes.
- Desaparición gradual de equipos generadores menos eficientes.

Otros dos aspectos son importantes a la hora de valorar la implantación de un sistema de gestión energética: la liberalización de los suministros energéticos y la creación de empresas de servicios energéticos.

En primer lugar, la *liberalización del suministro energético*, tanto de combustibles como de energía eléctrica, hace que los precios de la energía dejen de estar regulados por tarifas publicadas en el B.O.E. La contratación energética se negociará directamente con las empresas comercializadoras. Éstas disponen de toda la información necesaria sobre la instalación y sus pautas de consumo, ya que habitualmente son los propietarios de los contadores, por lo que pueden hacer una oferta que se ajuste a sus necesidades. Por el contrario, el usuario final se encuentra en una situación de desconocimiento e inferioridad negociadora frente a las compañías comercializadoras, que redundará en una deficiente contratación energética, elevando los costes energéticos. Es fundamental por tanto conocer los consumos energéticos con sus pautas de consumo, curvas de demanda y costes por kWh para llevar a cabo una óptima contratación de los suministros energéticos, y su correcta gestión posterior.

Por otro lado, desde el Ministerio de Industria se está fomentando la creación de *empresas de servicios energéticos (ESE)*. Según el IDAE, una empresa

de servicios energéticos puede asumir varias funciones: compra y gestión de la energía, mantenimiento y reparación de la instalación, realización de inversiones que mejoren la eficiencia energética y la gestión técnica de la instalación. Estos servicios se materializarían a través de un contrato de servicios energéticos que condiciona el pago de los servicios prestados a la obtención de un bienestar térmico por un lado, y a la mejora de la eficiencia energética y la obtención de un ahorro verificable. Es de hecho a través de estos ahorros donde se consigue la financiación para las propuestas. La actual externalización de los servicios generales de empresas y administraciones públicas es otra tendencia que muestra a las ESE como la evolución futura. Por todo ello, la propiedad del edificio debe disponer de un sistema de gestión que le permita el control y seguimiento de los consumos energéticos, que facilite una negociación realista del contrato de servicios energéticos y la verificación de su cumplimiento.

Por último, otro punto importante a tener en cuenta es que este tipo de medidas añade valor a la instalación y al equipo que lo gestiona.

Las instalaciones térmicas deben estar equipadas con sistemas de contabilización, de tal forma que se puedan desglosar los consumos de la parte productiva de la parte de climatización. Así, el usuario puede conocer su consumo de energía, y permitir el reparto de los gastos de explotación en función del consumo, entre las distintas áreas.

Como regla general se debe hacer hincapié en estas exigencias:

- Cada área deberá disponer de sus propios contadores de energía, de cualquier tipo (eléctrica y térmica). Ésta es una manera muy eficaz de ahorrar energía, obligando a cada departamento a pagar por lo que consumen.
- Para instalaciones de más de 70 kW térmicos se exige que se mida la energía consumida por la instalación de climatización. El fin es el de tener los datos de los consumos eléctricos y térmicos para, al cabo de un cierto tiempo, poder efectuar intervenciones que mantengan o mejoren la eficiencia energética de la instalación.
- Con el mismo fin, se exige que las centrales frigoríficas de más de 400 kW térmicos dispongan de dispositivos de medición y registro del consumo de energía eléctrica de las máquinas frigoríficas y sus accesorios, incluidas las torres, en su caso.
- Los generadores de calor y frío de potencia mayor que 70 kW dispondrán de un registrador de las horas de funcionamiento, así como del número de arrancadas de los compresores frigoríficos. Este dato es muy importante para el mantenimiento de los equipos.



Como complemento, la Guía Técnica de Contabilización de Consumos, editada por el IDAE, especifica las mediciones, ratios y registros de consumos recomendados, que se reproduce a continuación.

Para poder hacer un seguimiento de la eficiencia energética de las instalaciones de calefacción, refrigeración y A.C.S. de un edificio mediante ratios energéticos, además de las mediciones exigidas por la legislación, será necesario instalar los contadores en los puntos adecuados de la instalación, de tal manera que permitan medir en la central térmica al menos:

- Energía del combustible consumido, en base a su PCI, en kWh (Eco)
- Energía eléctrica consumida en kWh (Eel)
- Energía térmica útil aportada al sistema de calefacción en kWh (Euc)
- Energía térmica útil aportada al sistema de refrigeración en kWh (Eur)
- Energía térmica útil aportada al sistema de producción de ACS en kWh (Eua)
- Energía solar aportada al sistema de calefacción en kWh (Eusc)
- Energía solar aportada al sistema de refrigeración en kWh (Eusr)
- Energía solar aportada al sistema de producción de A.C.S. en kWh (Eusa)

En caso de que se tenga contratado un servicio de mantenimiento, la empresa mantenedora llevará un registro con los datos energéticos de la central de generación de calor y/o frío, en el que se realice la entrada de los parámetros reseñados.

Mediante el registro de estos parámetros y la creación de unos indicadores, se podrán comparar los consumos a lo largo del tiempo, y compararlos con otras instalaciones similares. En función del tipo de energía suministrada utilizada (combustible o electricidad) se proponen los siguientes indicadores:

- Instalaciones que utilicen combustibles fósiles:
  - Rendimiento estacional anual, expresado en porcentaje, tomado como el ratio entre la energía térmica útil enviada al edificio y la energía suministrada a la central térmica por los distintos tipos de energía.
  - Consumo unitario de combustible para calefacción, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
  - Consumo unitario de combustible para refrigeración, expresado en kWh/ m<sup>2</sup>.

- Consumo unitario de combustible para A.C.S., expresado en kWh/m<sup>3</sup>.
- Consumo unitario útil de calefacción, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
- Consumo unitario útil de refrigeración, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
- Consumo unitario útil de A.C.S., expresado en kWh/m<sup>3</sup>.
- Rendimiento estacional de generadores de calor: relación entre la energía térmica útil producida y la energía total consumida por los generadores de calor.
- Instalaciones que utilicen electricidad:
  - Rendimiento estacional anual, expresado en porcentaje.
  - Consumo unitario de electricidad para calefacción, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
  - Consumo unitario de electricidad para refrigeración, expresado en kWh/ m<sup>2</sup>.
  - Consumo unitario de electricidad para A.C.S, expresado en kWh/m<sup>3</sup>.
  - Consumo unitario útil de calefacción, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
  - Consumo unitario útil de refrigeración, expresado en kWh/m<sup>2</sup>.
  - Consumo unitario útil de producción de A.C.S., expresado en kWh/m<sup>3</sup>.
  - Rendimiento estacional de generadores de calor.
  - Coeficiente de eficiencia energética de generadores de frío.
- Registro del consumo de agua de llenado de los circuitos cerrados:
  - Registro con los consumos de agua de llenado de los circuitos cerrados para los sistemas de calefacción, refrigeración, producción de A.C.S. y circuito solar.

Gracias a los avances tecnológicos de última generación es posible, y recomendable, la automatización de todos los procesos de medición, seguimiento supervisión, gestión y extracción de conclusiones. En la actualidad existen multitud modelos de sistemas de visualización o scadas que pueden aplicarse a todo tipo de instalaciones.

Un sistema de gestión energética permite lo siguiente:

- Controlar los perfiles de carga y sectorización, optimizando la demanda, reduciendo las puntas de consumo, midiendo las mejoras implementadas y verificando sus ahorros.

- Análisis de la calidad del suministro de energía.
- Asignación de costes y tarificación.
- Modelización de consumos, predicción de necesidades futuras y valoración del riesgo de los proyectos.
- Supervisión y rendimiento de las instalaciones.

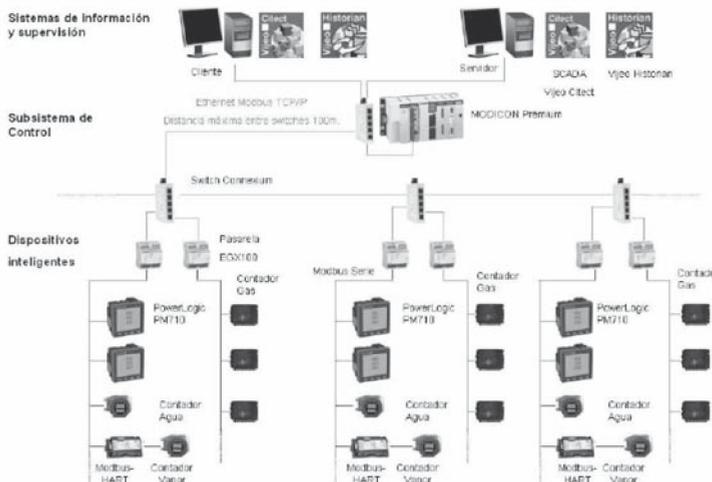
### 4.2.1 Ejemplo de aplicación

El sistema consiste en la adquisición y procesamiento de datos de consumos energéticos con el objetivo de proporcionar la información que facilite la toma de decisiones para la reducción de los consumos de energía eléctrica, agua, gas, vapor y aire.

El sistema de supervisión debe de ser capaz de:

- Adquirir los valores de consumo actuales y totalizadores con una frecuencia temporal y por eventos.
- Mostrar en pantalla la información de consumos en tiempo real.
- Ofrecer gráficas rápidas en tiempo real.
- Ofrecer una herramienta sencilla y potente para analizar los datos almacenados (históricos) de cualquiera de los consumos y periodos temporales en pantalla, impresora o exportación a herramientas ofimáticas.

La arquitectura planteada es la siguiente:



Para tener un control total del consumo de la instalación y poder detectar los puntos de mejora de la eficacia en el uso de la energía y de los recursos naturales, se controla una serie de parámetros. Todos ellos se miden por dispositivos conectados por buses digitales y transportados al controlador.

- Energía eléctrica: en el ámbito de la energía eléctrica se utilizan centrales de medida, las cuales proporcionan información en tiempo real de:
  - Energía aparente (kVAh)
  - Energía activa (kWh)
  - Energía reactiva (kVARh)
  - Potencia aparente total (kVA)
  - Potencia activa total (kW)
  - Potencia reactiva total (kVAR)
  - Factor de potencia total.
  - Corriente media (A)
  - Tensión media entre líneas (V)
  - Tensión media entre línea y tierra (V)
- Frecuencia (Hz): estos datos se graban según un tiempo de muestreo de aproximadamente 5 minutos.
- Consumo de agua: para obtener un buen seguimiento del consumo de agua se colocan caudalímetros digitales con comunicación *Modbus*. Del mismo modo que la energía eléctrica, estos datos son muestreados con una frecuencia de aproximadamente 5 minutos.
- Consumo de gas: la lectura de consumos actuales y totales de gas se obtienen mediante equipos correctores de medida homologados y con comunicación *Modbus* RS485. Los datos son muestreados por un periodo de tiempo predeterminado de aproximadamente 5 minutos.
- Consumo de vapor: se utilizan contadores de vapor digitales que permiten conocer y controlar los consumos en cada una de las tecnologías y así identificar oportunidades de optimización.
- Consumo de aire: del mismo modo, mediante contadores de partículas de aire se tiene acceso a los rendimientos de la instalación, identificando excesos de consumos, pérdidas energéticas, y de esta forma se puede minimizar su uso.

## **BIBLIOGRAFÍA**



- Federal Energy Management Program (DOE/EE-0249). Low-Energy Building Design Guidelines.
- Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). DOCE 237/L, de 22-09-93.
- Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004 - 2012 (E4). Plan de acción 2008 - 2012.
- Estadística Energética en Castilla y León. Boletín nº 93: Cuarto trimestre 2008 y resumen anual.
- Energy efficient boilers and heat distribution systems: Choosing the best for your site. 2005. Carbon Trust. UK.
- Heating & Energy Handbook. FRICO AB. [www.frico.se](http://www.frico.se)
- Solar air collectors for buildings. 1999. The Department of the Environment, Transport and the Regions' Energy Efficiency Best Practice Programme". UK.
- <http://www.sitiosolar.com>
- An introduction to absorption cooling. 2001. Government Energy Efficiency Best Practice Programme. UK.
- A designer's guide to the options for ventilation and cooling. 2001. Government Energy Efficiency Best Practice Programme. UK.
- Guía Técnica del Diseño y cálculo del aislamiento térmico de conducciones, aparatos y equipos. IDAE. ISBN: 978-84-96680-08-1.
- The economic thickness of insulation for hot pipes. 1996. Government Energy Efficiency Best Practice Programme. UK.
- Heat recovery from air compressors. Government Energy Efficiency Best Practice Programme. UK.
- Quick Plant Energy Profiler. U.S. Department of Energy.
- UNE-EN 15459:2008. Eficiencia energética de los edificios. Procedimiento de evaluación económica de los sistemas energéticos de los edificios.
- Catálogo de elementos constructivos del CTE.

- “Las cubiertas ecológicas de tercera generación: un nuevo modelo constructivo”. F. J. Neila, C. Bedoya, C. Acha, F. Olivieri, M. Barbero. Informes de la construcción Vol.60, 511, 15-24, Julio-Septiembre 2008.
- Guía práctica sobre instalaciones centralizadas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) en edificios de viviendas. IDAE Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [www.idae.es](http://www.idae.es) Madrid, septiembre de 2008 Depósito Legal: M-58849-2008.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) R.D. 1027/2007.
- Comentarios RITE 2007 Reglamento de Instalaciones térmicas en los edificios. ISBN 978-84-96680-23-4.
- Guía técnica de mantenimiento de instalaciones térmicas. IDAE. ISBN: 978-84-96680-06-7.
- Manual de Mejoras Horizontales. Energía Eléctrica. EREN. 2009.
- Manual de Mejoras Horizontales. Energía Térmica. EREN. 2009.
- Manual de aislamiento en la industria. ISOVER. <http://www.isover.net/asesoria/manuales/industria.htm>

Los autores quieren agradecer a las siguientes empresas su colaboración en el desarrollo del presente manual:

- AUSTRAL AIR. [www.australair.com](http://www.australair.com)
- BAXIROCA. [www.baxicalefaccion.com](http://www.baxicalefaccion.com)
- CIATESA. [www.ciatesa.es](http://www.ciatesa.es)
- IFTEC. [www.iftec.es](http://www.iftec.es)
- INTEMPER. [www.intemper.com](http://www.intemper.com)
- TECNA. [www.tecna.es](http://www.tecna.es)
- VIESSMAN. [www.viessmann.es](http://www.viessmann.es)
- ZINCO CUBIERTAS ECOLÓGICAS. [www.zinco-cubiertas-ecologicas.es](http://www.zinco-cubiertas-ecologicas.es)





Manual técnico  
Ahorro y eficiencia energética en  
climatización de naves industriales