

# Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas

## Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas



MINISTERIO  
DE INDUSTRIA, TURISMO  
Y COMERCIO

**IDA E** Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía



*Agricultura*

# Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas

## Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas

## TÍTULO

Auditorías energéticas en instalaciones ganaderas.

Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas

## CONTENIDO

Esta publicación ha sido redactada para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) por Luis Manuel Navas (Universidad de Valladolid, España) y Fátima Baptista (Universidade de Évora, Portugal), habiendo contado con la colaboración de los profesores de ambas instituciones Adriana C. Guimaraes, Fernando González, José F. Sanz y Vasco Fitas da Cruz.

.....  
Esta publicación está incluida en el fondo editorial del IDAE, en la serie “Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.

Cualquier reproducción, total o parcial, de la presente publicación debe contar con la aprobación del IDAE.

ISBN: 978-84-96680-48-7  
.....

### **IDAE**

**Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía**

**c/ Madera, 8**

**E - 28004 - Madrid**

**comunicacion@idae.es**

**www.idae.es**

Madrid, junio 2010

# Índice

Página

<b>Prólogo</b> . . . . .	<b>5</b>
<b>1 Auditorías energéticas de las explotaciones ganaderas</b> . . . . .	<b>7</b>
1.1 Introducción . . . . .	7
1.2 Contexto legislativo sobre ahorro y eficiencia energética . . . . .	8
1.3 Objetivos y mejoras de las auditorías energéticas . . . . .	9
1.4 Procedimiento para la realización de auditorías energéticas . . . . .	10
<b>2 Balance energético en las instalaciones ganaderas</b> . . . . .	<b>17</b>
2.1 Condiciones meteorológicas. . . . .	17
2.2 Condiciones en el interior de las instalaciones . . . . .	18
2.3 Cálculo del balance energético . . . . .	21
<b>3 Medidas de ahorro energético y mejora de la eficiencia energética</b> . . . . .	<b>27</b>
3.1 Introducción. . . . .	27
3.2 Elementos constructivos y aislamiento . . . . .	28
3.3 Equipos de calefacción y distribución del calor . . . . .	29
3.4 Equipos de refrigeración y ventilación . . . . .	30
3.5 Equipos de iluminación . . . . .	33
3.6 Equipos de control y automatización. . . . .	35
<b>4 Aplicación de las energías renovables</b> . . . . .	<b>37</b>
4.1 Introducción. . . . .	37
4.2 Energía solar . . . . .	38
4.3 Energía de la biomasa sólida . . . . .	50
4.4 Energía geotérmica de baja entalpía . . . . .	50

<b>5 Aprovechamiento energético de los residuos ganaderos . . .</b>	<b>55</b>
<b>Anexo I: Casos prácticos de cálculo de necesidades energéticas en instalaciones ganaderas . . . . .</b>	<b>59</b>
Caso 1. Instalación de ganado porcino (cerdas madre y lechones) . . .	60
Caso 2. Instalación de ganado porcino (cerdos de engorde). . . . .	62
Caso 3. Instalación avícola de engorde . . . . .	63
Caso 4. Instalación de vacuno de leche . . . . .	65
<b>Anexo II: Ejemplo de dimensionamiento de una instalación de energía solar térmica . . . .</b>	<b>69</b>
<b>Anexo III: Ejemplo de dimensionamiento de una instalación de energía solar fotovoltaica .</b>	<b>73</b>
<b>Reglas Clave . . . . .</b>	<b>77</b>
<b>Bibliografía . . . . .</b>	<b>79</b>

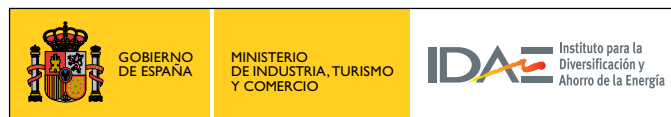
# Prólogo

El momento en que vivimos es decisivo, porque hay un escenario económico y energético en el mundo y en España que nos obliga a poner en marcha iniciativas y políticas que moderen el crecimiento energético y nos hagan más competitivos económicamente en la producción de materia prima y productos elaborados.

España, tradicionalmente agrícola y ganadera, cuenta con más de medio millón de explotaciones ganaderas considerando las correspondientes a las poblaciones de bovinos, ovinos, porcinos, caprinos y aves.

Explotaciones ganaderas que tienen un consumo energético variable, en grandes rasgos, en función de la climatología donde esté ubicada, y de la tipología de la explotación. Inventariar, analizar y dar alternativas al consumo energético de las explotaciones es una tarea que dará beneficios económicos y reducirá la cuenta de gastos de la explotación, haciendo que se incremente la competitividad de la materia producida.

El IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) tiene un conjunto de actuaciones encaminadas al ahorro de energía y a la diversificación energética a través de fuentes renovables. Estas medidas están agrupadas en el Plan de Energías Renovables 2005-2010 y la Estrategia de Eficiencia Energética en España desarrollada mediante sus Planes de Acción 2005-2007 y 2008-2012.



En estos Planes de Acción, como una de las primeras medidas a favor del ahorro y la eficiencia energética, se prevé la realización de medidas de formación e información de técnicas de uso eficiente de la energía en la agricultura, ganadería y la pesca con el fin de introducir y concienciar a los agentes del sector sobre la importancia del concepto de eficiencia energética.

Conscientes de que el agricultor, ganadero y pescador pueden tener una incidencia en el ahorro energético consiguiendo paralelamente un ahorro económico para su explotación, el IDAE, siempre contando con la

colaboración del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, está realizando una serie de acciones en materia de formación, información y difusión de técnicas y tecnologías de eficiencia energética en el sector. Una de estas acciones es el desarrollo de una línea editorial en materia de eficiencia energética en el sector agrario mediante la realización de diversos documentos técnicos, como el que se presenta, donde se explican los métodos de reducción del consumo de energía en las diferentes tareas agrícolas.

En este sentido, ya se han publicado y están disponibles en nuestra página web ([www.idae.es](http://www.idae.es)), los quince primeros documentos de esta línea editorial:

- Tríptico promocional: “Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura”.
- Documento especial (coeditado con el MAPA): “Consumos Energéticos en las Operaciones Agrícolas en España”.
- Documento nº 1: “Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola”.
- Documento nº 2: “Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío”.
- Documento nº 3: “Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas”.
- Documento nº 4: “Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola”.
- Documento nº 5: “Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agraria”.
- Documento nº 6: “Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada”.
- Documento nº 7: “Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos”.
- Documento nº 8: “Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorria”.
- Documento nº 9: “Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes”.

- Documento nº 10: “Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes”.
- Documento nº 11: “Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura”.
- Documento nº 12: “Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación”.
- Documento nº 13: “Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca”.

En el Plan de Acción 2008-2012 también se propone desarrollar la medida de “Realización de Auditorías Energéticas y Planes de Actuación en Explotaciones Agrarias”. Como ayuda a la puesta en marcha de esta medida, el IDAE ha desarrollado un paquete de dos publicaciones que contiene un manual para realizar auditorías energéticas en instalaciones ganaderas y un protocolo de auditoría energética que permite un análisis exhaustivo de la situación energética de la explotación.

Todas las medidas del Plan de Acción 2008-2012 son desarrolladas en colaboración con las CCAA, de ahí la importancia de que ellas también se den cuenta que el uso racional de la energía deberá formar parte de todas las decisiones que afecten al sector agrícola. Y es de vital importancia que los programas públicos de apoyo incorporen la eficiencia energética como un elemento prioritario, partiendo de la formación de formadores y agentes, y primando aquellos equipos más eficientes.



# 1 Auditorías energéticas de las explotaciones ganaderas

---

## 1.1 Introducción

La energía es un medio productivo imprescindible para cualquier tipo de instalación, y en particular por ser el objeto del presente Manual, para las explotaciones ganaderas. Sin embargo, la energía tiene un coste, bien sea por su adquisición o por su autogeneración, por lo que es imprescindible conocer cómo dichas explotaciones contratan el aprovisionamiento de su energía, cómo consumen dicha energía en sus procesos, cuánto repercute en sus costes productivos, cuál es su perfil consumidor respecto a otras instalaciones similares del mismo sector productivo y las posibles mejoras para disminuir el consumo energético y el coste económico asociado. Y en esto consisten las auditorías energéticas.

Las auditorías energéticas se pueden definir como un proceso sistemático mediante el cual se obtiene un conocimiento suficientemente fiable del consumo energético de una explotación, se detectan los factores que afectan a dicho consumo, y se identifican, evalúan y ordenan las distintas oportunidades de ahorro de energía en función de su rentabilidad económica.

En definitiva, las auditorías energéticas son una herramienta que permite conocer la trazabilidad de la energía en relación con la producción obtenida (cantidad y tipo de energía incorporada en cada operación del proceso productivo) y la instalación consumidora (energía destinada a alumbrado, calefacción, refrigeración y restantes tecnologías horizontales), dado que repartir la energía aplicada a cada producto en cada uno de los procesos de producción forma parte de la labor de la auditoría energética. En cuanto a su vinculación con los sistemas de gestión medioambiental de la explotación, la auditoría energética permite reducir el consumo de recursos, en este caso de recursos energéticos.

Durante la realización de la auditoría energética se recopilan en las explotaciones ganaderas auditadas un conjunto de datos básicos, como son producciones, consumos de electricidad y combustibles, y los costes energéticos. Estos datos se analizan y se re-

lacionan entre sí para determinar unos indicadores energéticos, como son los consumos específicos y, a ser posible, costes energéticos, para cada una de las distintas producciones de la explotación.

Por otro lado, es muy importante a nivel de cooperativa, asociación profesional y del mismo sector productivo, ampliar los beneficios de la auditoría energética en cada instalación individual, mediante el aprovechamiento común de datos y conclusiones. Para ello se desarrollan dos instrumentos, como son las Buenas Prácticas y el Benchmarking.

Las Buenas Prácticas son recetas identificadas por la experiencia conjunta de muchos usuarios y expertos en energía, sobre la mejor forma de diseñar, implantar, operar y mantener los sistemas productivos y los servicios de las instalaciones, para conseguir una mayor eficiencia energética en un sector productivo determinado. Por su parte, el Benchmarking energético (estudio comparativo) se desarrolla para conocer el estado del consumo energético de varias instalaciones del mismo sector, y comparar de manera sistematizada las distintas características del consumo de energía.

## 1.2 Contexto legislativo sobre ahorro y eficiencia energética

El ahorro de energía, su consumo responsable y el uso eficiente de las fuentes energéticas son esenciales a todos los niveles. A nivel nacional, la importancia de las medidas de ahorro y eficiencia energética se manifiesta en la necesidad de reducir la factura energética (el 85% de la energía primaria consumida en España es importada), disminuir la dependencia energética del exterior, y reducir la emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) y la compra de derechos de emisión con objeto de cumplir los compromisos adquiridos con la ratificación del Protocolo de Kioto. A nivel del sector ganadero, y para cada explotación pecuaria en particular, el ahorro y la eficiencia energética posibilitará reducir la intensidad energética de los procesos, haciendo que los productos sean más competitivos en el mercado interior y exterior.

Sin el objetivo de ser exhaustivos, se relaciona a continuación la normativa, planes de fomento y estrategias más relevantes relativas al ahorro y la eficiencia energética:

- Ley 54/1997, de 27 noviembre, del Sector Eléctrico.
- RD 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Constituye la primera norma europea que obliga a incorporar las tecnologías solares (térmica y fotovoltaica) en las edificaciones.
- RD 1539/2006, de 15 de diciembre, por el que se regula la concesión de ayudas para la renovación del parque nacional de maquinaria agrícola.
- RD 47/2007, de 19 de enero, que complementa al Código Técnico de la Edificación (CTE).
- RD 661/2007, de 25 de mayo, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.
- Plan de Energías Renovables (PER) 2005-2010. Constituye la principal referencia del sector de las energías renovables en España. Establece que el 12,1% del consumo de energía primaria para el año 2010 sea abastecido por energías renovables.
- Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (PAE4+) 2008-2012. Aprobado el 20 de julio de 2007. Recoge la experiencia de los tres años de gestión del anterior Plan de Acción PAE4, y establece medidas concretas para siete sectores desagregados (industria, transporte, edificación, servicios públicos, residencial, agricultura y transformación de energía), focalizando su aplicación en los denominados sectores difusos (transporte y residencial). Para el sector agrícola, las medidas principales son: campañas de comunicación, cambio en los sistemas de riego, mejora del ahorro y la eficiencia energética en el sector pesquero, mejoras energéticas en comunidades de regantes, modernización de la flota de tractores agrícolas, mejora de la eficiencia energética de los tractores en uso mediante la ITV, y migración a la agricultura de conservación (siembra directa y cubiertas vegetales).

- Plan Nacional de Asignación 2008-2012 de derechos de emisión (PNA).
- Estrategia Española del Cambio Climático y Energía Limpia (EECCCEL).
- Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética (E4) 2004-2012, aprobado por el Gobierno el 28 de noviembre de 2003. Establece los potenciales de ahorro y las medidas que se deben llevar a cabo con el objeto de mejorar la intensidad energética de nuestra economía e inducir un cambio de convergencia hacia los compromisos internacionales en materia de medio ambiente. Sobre esta Estrategia se concretaron los Planes de Acción PAE4 y PAE4+.

## 1.3 Objetivos y mejoras de las auditorías energéticas

### 1.3.1 Objetivos y ampliación de beneficios

Como se ha indicado anteriormente, una auditoría energética es un estudio sistemático de las características de una explotación ganadera como agente consumidor de energía, con el objetivo fundamental de disminuir este consumo y sus costes económicos asociados, con la condición de que no se vean afectadas la producción o la calidad del servicio prestado. Para conseguir este objetivo será necesario conocer adecuadamente el tipo y la cantidad de energía consumida en cada proceso, y determinar las acciones pertinentes para mejorar el comportamiento de la explotación como consumidor energético con el fin de disminuir sus costes, desarrollando las siguientes etapas:

- Análisis preliminar de los datos de consumo, costes de energía y producción, determinando los factores que afectan sobre los índices energéticos de la explotación.
- Balance energético global de la instalación, y balances específicos de los equipos y líneas de producción intensivas en consumos de energía, para su cuantificación.

- Identificación de las áreas de oportunidad que ofrecen potencial de ahorro de energía.
- Determinación y evaluación económica de los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlos.
- Análisis de costes y beneficios de las actuaciones dentro del contexto financiero y gerencial de la explotación, para poder priorizar la ejecución de las medidas propuestas.

La explotación auditada, a la vista del informe final que explica y resume toda la auditoría, podría completarla y ampliarla desarrollando otros aspectos vinculados con ella, como son:

- 1 Diseño de un Programa de Ahorro y Gestión Energética (PAGE), como plan de acción para la realización de todas las propuestas de ahorro de energía en la instalación, incluyendo fechas, metas y responsabilidades. El objetivo del PAGE es mejorar la competitividad de la explotación, ampliar su horizonte energético y liberar recursos económicos que puedan ser destinados a otras actividades productivas. Para el correcto diseño y puesta en marcha de un PAGE se deberán tener en cuenta los siguientes puntos:
  - Compromiso activo de la dirección de la explotación, ya que un PAGE requiere la inversión de recursos humanos y materiales.
  - Disponer de una base de datos consistente sobre consumos energéticos y desencadenar los procedimientos necesarios para monitorizar los consumos energéticos no contemplados hasta el momento.
  - Relación con los sistemas de gestión medioambiental, calidad, seguridad e higiene de la explotación.
- 2 Formación y entrenamiento energético del personal (propietario, capataz y trabajadores).
- 3 Aplicación de las medidas de ahorro detectadas que sean viables económicamente, evaluación que deberá ser hecha mediante las normas y técnicas financieras usuales en la explotación. Así, se distinguirán los siguientes tipos de mejoras:

- Sin coste.
- De coste reducido.
- De coste elevado.
- Adicionalmente podrían contemplarse las inversiones con la participación de terceros (subvenciones) y soluciones que incluyan la participación de las empresas suministradoras de servicios energéticos.

### 1.3.2 Cálculo y evaluación económica de las medidas de ahorro

Las medidas de ahorro y eficiencia energética que se propongan para una explotación serán realmente aplicables si se garantiza su rentabilidad económica. Para realizar este análisis se incluye a continuación un procedimiento de evaluación.

#### 1 Datos de partida:

- Inversión, I (€). Valoración de los equipos que hay que adquirir y los trabajos que hay que realizar, a los precios vigentes en el mercado.
- Disminución anual de costes energéticos, DCE (€/año). Valoración del ahorro en costes energéticos, consecuencia de la implantación de la mejora energética.
- Aumento anual de costes de mantenimiento/operación, ACOMO (€/año). Valoración del incremento anual de los costes de mantenimiento y de operación asociados a la mejora energética.
- Ahorro económico anual, AEA (€/año). Valoración del ahorro económico anual resultante:

$$AEA = DCE - ACOMO$$

- Vida útil del equipo, Vu (años).
- Ahorro económico durante todo el proyecto, AEA<sub>n</sub> (€). Valoración del ahorro económico resultante durante la vida útil del equipo:

$$AEA_n = AEA \cdot Vu$$

#### 2 Ratios de rentabilidad:

- Período de amortización bruta (*pay-back* o tiempo de retorno de la inversión), PB (años):

$$PB = \frac{I}{AEA}$$

- Rendimiento bruto de la inversión, RBI (%). Expresa el porcentaje de beneficio sobre la inversión obtenido a lo largo de la vida de la instalación origen de la mejora:

$$RBI = \frac{(I - AEA_n)}{I} 100$$

- Rendimiento bruto anual de la inversión, RBA (% anual). Con este indicador se calcula el beneficio anual, que suele ser más operativo que el RBI:

$$RBA = \frac{RBI}{Vu}$$

- Depreciación anual del equipo, D (€/año, lineal):

$$D = \frac{I}{Vu}$$

- Tasa de retorno de la inversión, TRI. Mediante este indicador se pretende disponer de una base para comparar distintas alternativas de inversión:

$$TRI = \frac{(AEA_n - D)}{I}$$

## 1.4 Procedimiento para la realización de auditorías energéticas

### 1.4.1 Instrucciones generales

Para la realización correcta de la auditoría energética de una explotación ganadera es aconsejable seguir las instrucciones básicas que se incluyen a continuación:

- Las auditorías energéticas requieren que se establezca una buena relación entre el personal de la instalación auditada y el personal auditor, si éste es ajeno a la misma, para que la transmisión de datos e informaciones sea más fluida.

- Se han de planificar correctamente los trabajos de la auditoría para minimizar las interferencias con el normal funcionamiento de la instalación.
- Para la realización de medidas in situ debe obtenerse la autorización previa de los responsables de la explotación. Se harán con las máximas medidas de seguridad para el personal de la instalación y de la empresa auditora.
- En lo posible, hay que evitar que los trabajadores de la explotación modifiquen su método de trabajo habitual.
- Es conveniente preparar una lista de la documentación necesaria para la auditoría y comentarla con el responsable de la instalación para fijar un plazo de entrega.

Estas instrucciones generales son también aplicables cuando la auditoría la realiza el personal de la propia explotación.

#### **1.4.2 Fases de desarrollo de una auditoría energética**

Las tres etapas fundamentales en las que se basa una auditoría energética son:

- 1 Prediagnóstico energético. Consistente en la visita a la explotación y la toma de datos para la posterior asesoría.
- 2 Diagnóstico o asesoría energética. Basándose en los datos anteriores se realizan:
  - Balances de energía de cada proceso.
  - Detección de posibles mejoras energéticas.
  - Cálculo del ahorro económico de las mejoras.
  - Evaluación económica de la ejecución de las mejoras.
- 3 Diagnóstico de seguimiento. Se corresponde con el seguimiento de las mejoras efectuadas para establecer su rentabilidad.

De forma muy esquemática, la estructura básica de un prediagnóstico energético es la siguiente:

- 1 Datos generales. Este apartado aporta información sobre el nombre de la explotación y domicilio social, actividad desarrollada, datos de la persona de contacto en la explotación y datos del técnico que realiza el prediagnóstico.
- 2 Datos de producción. Se deberán incluir datos referidos al régimen de funcionamiento (horario, calendarios semanal y anual), cifra total de ventas, influencia del precio de la energía sobre los costes productivos, principales materias primas empleadas y principales productos obtenidos.
- 3 Diagrama de proceso. Se representará un esquema del proceso de producción, especificando en cada etapa si hay consumo de energía térmica o eléctrica, o de ambas a la vez.
- 4 Consumo anual de energía. Se consignan los consumos de combustibles y de energía eléctrica.
- 5 Distribución del consumo. Se distribuye el consumo de los distintos combustibles y electricidad entre las diferentes etapas del proceso productivo.
- 6 Residuos combustibles recuperables. Se indica si existen residuos utilizables como fuente energética (producción, consumo y venta).
- 7 Efluentes térmicos. Relación de efluentes térmicos, si existen, de la explotación, detallando cantidad, temperatura de los mismos y su calor específico.
- 8 Energía eléctrica. Se detalla información sobre la tarifa contratada, la potencia máxima demandada y si existe autoproducción eléctrica, especificando la cantidad de energía eléctrica autoproducida, consumida y vendida.
- 9 Parque de calderas. Se detallan las características de las calderas, su régimen de trabajo, la carga media y el rendimiento, entre otros datos importantes.
- 10 Ahorro de energía. En este apartado se hará referencia a las medidas de ahorro ya implantadas en la explotación, con indicación de su naturaleza, año de realización, ahorro conseguido, inversión realizada y período de amortización. También se incluirán las medidas de ahorro previstas y que falten por poner en marcha.

11 Comentarios. En esta última hoja del prediagnóstico se incluirá, si fuese oportuno, a grandes rasgos, las posibilidades de ahorro energético que el auditor haya podido detectar durante las visitas realizadas a la explotación. Algunas medidas de ahorro energético comunes a una gran parte de explotaciones ganaderas son: optimización de la contratación de energía eléctrica, cambio de combustible en las calderas para mejorar el rendimiento y optimización del sistema de iluminación de las naves.

Es relevante indicar la importancia de contar con un buen formulario para incluir los datos que se adquieren durante las visitas a las instalaciones realizadas en la fase de prediagnóstico.

Por su parte, las etapas a seguir para desarrollar la fase de diagnóstico energético son las siguientes:

- 1 Estudio de datos del prediagnóstico, los cuales deberán conducir a la identificación de oportunidades y medidas para el ahorro de energía. Para cada oportunidad detectada se deben identificar las medidas necesarias para aprovecharla y su rentabilidad, en base al coste de realización y los ahorros esperados.
- 2 Toma de datos en campo y mediciones, las cuales tendrán como objetivo obtener información operacional de los equipos y sistemas, que permita la investigación detallada de la operación de los mayores consumidores de energía de la explotación. En función de los equipos, los parámetros objeto de determinación serán distintos.
- 3 Caracterización de los procesos consumidores de energía, la cual muy frecuentemente será hecha acudiendo a la formulación de balances de materia y energía, los cuales son interpretados mediante los diagramas de flujo energético (Figura 1.1).
- 4 Identificación técnica de las medidas de ahorro energético.
- 5 Cálculo y evaluación del ahorro económico (rentabilidad de la inversión) que previsiblemente se tendrá con las medidas de ahorro de energía. En esta evaluación económica se han de tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Contemplar todos los costes, tanto los puramente energéticos, como los referidos a mano de obra, mantenimiento, etc.

- Comparar diferentes sistemas que sean viables en la consecución del objetivo de eficiencia energética.

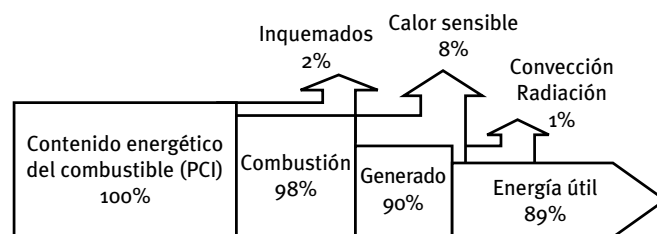
- Comparar diferentes proveedores.

6 Elaboración y remisión a la empresa del informe de auditoría, el cual básicamente se estructura de la siguiente forma:

- Resumen ejecutivo.
- Hipótesis y bases de cálculo.
- Descripción de la explotación.
- Consumos energéticos, en relación con los datos de producción.
- Situación actual de las instalaciones.
- Mejoras propuestas, con su análisis de rentabilidad financiera.
- Anexos (datos, mediciones, esquemas, etc.).

Por último, en la fase de diagnóstico de seguimiento se podrá analizar la viabilidad e interés real de las medidas de ahorro recomendadas y ejecutadas en la fase anterior de diagnóstico energético.

**Figura 1.1. Diagrama de Sankey de un proceso de generación de energía térmica mediante combustión**



### 1.4.3 Medidas de los consumos energéticos

Las auditorías energéticas exigen la realización de medidas específicas que complementan las que se pueden obtener leyendo los instrumentos de medida existentes en las explotaciones y los datos de con-



sumo medidos por las compañías suministradoras a través de los correspondientes contadores.



Figura 1.2. Analizador de redes para la caracterización del comportamiento y el consumo eléctricos de una instalación (Fuente: CIRCUTOR - [www.circutor.es](http://www.circutor.es))

Las medidas eléctricas se realizarán mediante el empleo de un analizador de redes (Figura 1.2). Para medidas puntuales pueden utilizarse testers o multímetros (Figura 1.3).



Figura 1.3. Multímetro para la medida puntual de parámetros eléctricos

Las medidas para instalaciones de combustión requerirán de un analizador de gases de combustión (Figura 1.4), que incluya sonda para toma de muestras, opacímetro, termómetro para gases y ambiente.

Además de los hasta ahora mencionados, en las auditorías energéticas es frecuente emplear otros instrumentos de medida, como sonda de medida de tiro y sondas para medidas de velocidad de fluidos en con-

ductos, las cuales además permiten tomar muestras representativas que no alteran la composición de los gases, en particular si arrastran partículas. Otros equipos son luxómetros (Figura 1.5), sondas de temperatura y humedad relativa ambiente (Figura 1.6), termómetros de infrarrojos (Figura 1.7), cámaras termográficas (Figura 1.8), anemómetros (Figura 1.9), caudalímetros y termoflujómetros. Otras medidas adicionales, en este caso relacionadas con el confort ambiental en los locales anexos a las dependencias productivas de la explotación, en donde se desarrollan actividades de tipo administrativo, son las realizadas con sonómetros (Figura 1.10) o con los equipos para la medida del confort térmico.



Figura 1.4. Analizador de gases de combustión para la caracterización del comportamiento de calderas (Fuente: SEITRON - [www.seitron.it](http://www.seitron.it))



Figura 1.5. Luxómetro para la medida del nivel de iluminación (Fuente: HANWELL - [www.hanwell.com](http://www.hanwell.com))



Figura 1.6. Sondas para la medida de la temperatura y la humedad relativa ambiente, formando parte de completos equipos supervisores (imagen de la izquierda, que incluye además un anemómetro) o de equipos registradores para realizar campañas de medida prolongadas (imagen de la derecha)



Figura 1.9. Detalle del elemento sensor de un anemómetro de hilo caliente para la medida de la velocidad del aire



Figura 1.7. Termómetro de infrarrojos para la medida de la temperatura de los cuerpos sólidos (Fuente: LAND - [www.landinst.com](http://www.landinst.com))



Figura 1.10. Sonómetro para la medida del nivel de ruido



Figura 1.8. Cámara termográfica para la medida de la temperatura de los cuerpos sólidos (Fuente: FLUKE - [www.fluke.es](http://www.fluke.es))

#### 1.4.4 Personal para la realización de las auditorías energéticas

La publicación siguiente al presente Manual, correspondiente al Protocolo para la realización de Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas, se caracteriza por su simplicidad, por lo que constituye una guía para realización de auditorías energéticas por los propios ganaderos, sin más que éstos tengan un mínimo adiestramiento y sensibilidad por llevarlas a cabo de una forma correcta, de cara a la fiabilidad y aplicabilidad de los resultados obtenidos. En los casos en los que la complejidad de las instalaciones sea grande, se justificará contar con los servicios de un auditor energético.



El auditor energético es el profesional que realiza las auditorías energéticas, en ocasiones coordinando a un grupo de especialistas, cuando la amplitud o la complejidad de la instalación analizada así lo aconsejen. La diversidad de tipos de empresas, con distintos tipos de equipos consumidores y tecnologías energéticas horizontales específicas, hace aconsejable que el auditor tenga una formación amplia, con conocimientos profundos de las técnicas energéticas y con capacidad para relacionar los procesos productivos con el consumo de energía, por lo que la experiencia profesional previa en la realización de auditorías energéticas es importante. A pesar de su importancia, no existe en la actualidad un registro de profesionales auditores energéticos, ni de empresas auditoras, ni de organismos de certificación.



## 2 Balance energético en las instalaciones ganaderas

---

### 2.1 Condiciones meteorológicas

Como ya se ha comentado, el ahorro y la eficiencia energética es en nuestros días un aspecto de enorme importancia para las diferentes actividades y sectores productivos, y la producción animal no es una excepción. Se pretende optimizar los consumos energéticos de los diferentes procesos, actividades y equipamientos de la explotación, manteniendo las condiciones del manejo, confort y seguridad de los animales y cuidadores. La eficiencia energética en las instalaciones pecuarias está asociada a la reducción del consumo de energía, traducida directamente en menores costes energéticos y en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Los diferentes sistemas de climatización utilizados en las instalaciones ganaderas (calefacción, refrigeración, ventilación, etc.) deben de ser correctamente dimensionados teniendo en cuenta las características climáticas de la zona donde se encuentra la nave, las condiciones deseadas en el interior de la misma, las características de la construcción y de los sistemas de climatización. La técnica del balance energético permite estimar las necesidades de ventilación, refrigeración o de calefacción necesarias para obtener las condiciones ambientales deseadas en el interior de las instalaciones (Albright, 1990).

El clima de una determinada localización está caracterizado por varios parámetros climáticos, los cuales influyen directamente en las condiciones en el interior de las explotaciones. Entre estos parámetros destacan la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, y la velocidad y dirección del viento.

La temperatura es, sin duda, el factor climático más importante del balance energético de las instalaciones, influyendo muy directamente en las necesidades de calefacción y de refrigeración de las mismas. Se caracteriza por su gran variabilidad, tanto a lo largo del día como entre los diferentes días.

En la definición de los balances energéticos de los alojamientos ganaderos, la temperatura exterior viene formulada por los valores medios, máximos y mínimos (estos dos últimos como valores absolutos

o medios), tanto diarios como mensuales o anuales. Existen varios métodos para la determinación de la temperatura exterior de proyecto en el estudio energético de una explotación pecuaria, pero en las condiciones climáticas de la Península Ibérica se puede considerar la existencia de dos situaciones perfectamente diferenciadas, que son las condiciones de verano y de invierno. Una regla práctica comúnmente usada en energética de alojamientos ganaderos es la determinación de las temperaturas máxima y mínima de proyecto, las cuales garantizan que la mayoría de las situaciones térmicas que se puedan producir estén incluidas entre ellas. Estas temperaturas se determinan como sigue:

$$T_{\text{max.proj.}} = \frac{2T_{\text{max.med.}} + T_{\text{max.abs.}}}{3}$$

$$T_{\text{min.proj.}} = \frac{2T_{\text{min.med.}} + T_{\text{min.abs.}}}{3}$$

siendo:

$T_{\text{max.proj.}}$	Temperatura máxima de proyecto, °C.
$T_{\text{min.proj.}}$	Temperatura mínima de proyecto, °C.
$T_{\text{max.med.}}$	Temperatura media de máximas anuales, °C.
$T_{\text{max.abs.}}$	Temperatura máxima absoluta anual, °C.
$T_{\text{min.med.}}$	Temperatura media de mínimas anuales, °C.
$T_{\text{min.abs.}}$	Temperatura mínima absoluta anual, °C.

## 2.2 Condiciones en el interior de las instalaciones

Las condiciones ambientales deseables en el interior de los alojamientos están definidas fundamentalmente por la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire y la concentración de gases. Dichas condiciones dependen esencialmente de las condiciones climáticas exteriores, de la especie animal alojada, de las características de la construcción y de los equipos de climatización disponibles. De las condiciones ambientales interiores dependerá el éxito de una explotación, ya que tienen un efecto directo sobre la eficacia alimentaria, la producción, la composición corporal, el crecimiento, la

reproducción, la mortalidad y otros parámetros fisiológicos y productivos.

La elección de las condiciones de temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y concentración de gases en el interior de las edificaciones pecuarias debe ser tal que conjugue de la mejor manera posible todos los factores que intervienen para asegurar el bienestar animal y las condiciones de producción, factores que deben conducir a la rentabilidad económica de la explotación con la verificación de los siguientes criterios (Randall, 1991):

- Control de la temperatura dentro de la zona termoneutral.
- Distribución y velocidad del aire interior.
- Calentamiento/enfriamiento general o diferencial.
- Nivel de gases, humedad relativa, presencia de polvo o de agentes patógenos y bacterias.

### Temperatura

Los animales presentes en una instalación son una fuente constante de calor sensible y latente (calor de respiración y transpiración) que influye en el valor de la temperatura interior. La temperatura interior resulta de la conjugación de factores como la temperatura exterior, las ganancias de calor debido a la presencia de los animales o las pérdidas de calor en la edificación (debido a la necesaria renovación de aire), entre los principales factores. El resultado de todos estos factores determina la precisa o no introducción de sistemas de acondicionamiento ambiental.

Según Curtis (1983), un animal puede sobrevivir y crecer bajo una vasta gama de temperaturas, pero en cada una de ellas lo hará a diferente ritmo. El intervalo de temperaturas óptimas de crecimiento de un animal se denomina zona de confort térmico, y se corresponde con aquellas para las que la temperatura corporal se encuentra en equilibrio con la ambiental y el animal no necesita utilizar energía para cualquiera de los mecanismos de regulación de su propia temperatura. La zona de confort térmico se encuentra dentro de una franja térmica más amplia

denominada zona termoneutral, que tiene como límites inferior y superior la temperatura crítica inferior y superior, respectivamente, de desarrollo animal. Fuera de la zona termoneutral, el bienestar y la productividad de los animales se ven claramente afectados (Forcada *et al.*, 2009).

Para cada especie, la definición de las temperaturas críticas y la zona de confort térmico es función de diversos factores relacionados con la instalación y

con la fisiología del propio animal, entre los cuales destacan la raza, el sexo, el peso corporal, la densidad animal, el nivel energético de la alimentación, la velocidad del aire sobre el animal, el tipo de suelo o el nivel de aislamiento térmico, entre otros factores. Existen tablas utilizadas comúnmente en la práctica, a las cuales se puede recurrir como indicación de las temperaturas interiores a considerar para las diferentes especies animales, aceptándose como valores indicativos los presentes en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1. Temperaturas interiores de referencia para instalaciones ganaderas, en función de la especie animal, la edad y el peso, recomendadas por diferentes autores**

Especie animal	Edad	Peso (kg)	Temperatura ambiente	Fuente de información
Ganado porcino	Lechones	2	30	Forcada <i>et al.</i> (2009)
			25 a 30	DEFRA (2003)
			30 a 32	García-Vaquero (1987)
	Recría	20	22	Forcada <i>et al.</i> (2009)
			20 a 30	DEFRA (2003)
	Engorde	100	16	Forcada <i>et al.</i> (2009)
			13 a 18	DEFRA (2003)
			12 a 15	García-Vaquero (1987)
			18	Forcada <i>et al.</i> (2009)
	Gestantes	200	15 a 20	DEFRA (2003)
20			Forcada <i>et al.</i> (2009)	
Lactantes	200	15 a 20	DEFRA (2003)	
		18 a 20	García-Vaquero (1987)	
Ganado bovino	Vacas lecheras	450	2 a 24	ASAE (2003)
			10 a 15	García-Vaquero (1987)
			20	Wathes <i>et al.</i> (1994)
Aves	Gallinas ponedoras		10 a 20	García-Vaquero (1987)
	Pollos de carne		12 a 24	CAP (2006)

### Humedad relativa

El valor óptimo de humedad a mantener en el interior de los alojamientos depende de la especie animal, de las condiciones exteriores y de la temperatura que se esté alcanzando en los mismos. Se busca conseguir niveles no perjudiciales para la sanidad animal y que no favorezcan el deterioro de la construcción y de los equipos, siendo aceptables valores entre 40 y 80%. Scott *et al.* (1983) informan que para temperaturas ambientales inferiores a 24 °C, la humedad relativa no tiene efecto alguno sobre los animales adultos. Sin embargo, valores de humedad relativa altos, aso-

ciados a situaciones de elevada temperatura, conducen a condiciones de estrés térmico, con consecuencias negativas para la producción y el bienestar animal.

En este sentido, los índices de confort térmico (THI) fueron desarrollados para identificar y cuantificar las zonas de confort térmico para las distintas cabañas. Por ello, permiten caracterizar situaciones de estrés térmico, como se puede comprobar en la Tabla 2.2 para vacas de leche, en donde la producción de leche y la ingestión de materia seca se reducen enormemente para valores de THI superiores a 77. También se pue-

de comprobar en la mencionada tabla que, para 29 °C de temperatura, los animales podrán pasar desde situaciones de no estrés hasta de estrés extremo, de-

pendiendo de la humedad relativa del aire. Tal hecho se explica por la disminución de las transferencias de calor latente cuando la humedad relativa es elevada.

**Tabla 2.2. Valores del índice de confort térmico (THI) para vacas de leche. Elaborado a partir de la fórmula presentada por Hahn (1999)**

Temperatura (°C)	Humedad relativa (%)								Efecto
	30	40	50	60	70	80	90	100	
18	62	62	63	63	64	64	64	65	Sin estrés
19	63	64	64	65	65	65	65	66	
20	64	65	65	66	67	67	68	68	
21	65	66	67	67	68	69	68	70	
22	67	67	68	69	70	70	71	72	
23	68	68	69	70	71	72	73	74	
24	69	70	71	72	73	74	74	75	
25	70	71	72	73	74	75	76	77	
26	71	72	73	74	76	77	78	79	Estrés moderado
27	72	73	75	76	77	78	80	81	
28	73	75	76	77	79	80	81	83	
29	74	76	77	79	80	82	83	84	
30	75	77	79	80	82	83	85	86	
31	76	78	80	81	83	85	86	88	
32	78	79	81	83	85	88	88	90	
33	79	81	82	84	86	88	90	92	
34	80	82	84	86	88	90	92	94	Estrés profundo
35	81	83	85	87	89	91	93	95	
36	82	84	86	89	91	93	95	97	
37	83	85	88	90	92	94	97	99	
38	84	87	89	91	94	96	98	101	
39	85	88	90	93	95	98	100	103	
40	86	89	92	94	97	99	102	104	

### Velocidad del aire

La velocidad del aire es un factor importante a tener en cuenta en el diseño de la ambientación de los alojamientos ganaderos, sobre todo en condiciones de invierno. Se debe evitar que el aire frío procedente del exterior incida directamente sobre los animales, debido al riesgo inherente de la aparición de neumonías. Por el contrario, durante el verano el aire debe de ser dirigido sobre los animales, toda vez que la circulación del aire provoca en ellos la sensación de frescura debido al aumento de la transferencia de calor por convección.

Los valores aceptables para la velocidad del aire dependen fundamentalmente de las temperaturas en el interior y en el exterior del alojamiento. Cuando la temperatura ambiental está dentro de la zona termoneutral, no se registran efectos beneficiosos significativos por un aumento moderado en la velocidad del aire (Verstegen *et al.*, 1987). Por el contrario, si los animales se encontrasen a temperaturas ambientales inferiores a las deseadas, es esencial mantener velocidades del aire bajas. Así, García-Vaquero (1987) indica como valores máximos de la velocidad del aire durante el invierno 0,5 m/s en bovinos,

0,1 m/s en lechones, de 0,1 a 0,2 m/s en cerdos adultos y, en época de verano, 0,4 m/s en cerdos adultos.

Por otro lado, según Randall (1980) y Geers *et al.* (1984), la velocidad de entrada del aire en la instalación debe ser del orden de los 4 a 5 m/s, de forma que se asegure la uniformidad de las condiciones en su interior. En este caso, si la temperatura exterior presenta un valor inferior a 2 °C se deberá calentar previamente el aire, de modo que no se perjudique la actividad de los animales.

### Concentración de gases

En una explotación ganadera se producen gases debido a la respiración de los animales (CO<sub>2</sub> y vapor de agua) y a la descomposición de la materia orgánica (principalmente CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> y SH<sub>2</sub>). La concentración de estos gases es un aspecto muy importante y que determina la tasa mínima de ventilación necesaria para mantener las condiciones adecuadas para la salud de los animales y de los operarios de la explotación.

Sin la renovación del aire interior gracias al efecto combinado de la infiltración y la ventilación, la concentración de gases aumentaría hasta valores que provocarían problemas graves de salud en los animales. Por ejemplo, en el caso del CO<sub>2</sub>, en instalaciones de pollos, valores entre 3.000 y 6.000 ppm no afectan el crecimiento, mientras que valores mayores de 15.000 ppm representan un peligro de intoxicación elevado. En naves de cerdos, no se aconseja valores superiores a 2.000 ppm de CO<sub>2</sub>, siendo tóxico con valores mayores de 35.000 ppm. En el caso de explotaciones de bovinos de leche y para el mismo gas, el límite deberá ser cercano a los 3.000 ppm.

## 2.3 Cálculo del balance energético

La producción ganadera intensiva se realiza en instalaciones diseñadas para tal fin, en las que se tiene en cuenta la especie animal a la que se destina, las propias características constructivas de la nave y aspectos específicos relacionados con el acondicionamiento ambiental. De hecho, el comportamiento y el bienestar animal quedan condicionados por las

dimensiones y las características de los espacios y equipamientos de las edificaciones, así como por las condiciones ambientales (temperatura, humedad relativa, velocidad del aire y concentración de gases) que se alcanzan en su interior, como se ha tenido la oportunidad de analizar anteriormente.

Naturalmente, la obtención de las condiciones ambientales más adecuadas al desarrollo productivo del animal requiere, la mayor parte de las veces, un consumo de energía para alimentar los dispositivos de climatización, consumo que deberá ser el mínimo posible para obtener esas condiciones. La eficiencia energética es por ello un aspecto muy importante ya que, como se sabe, la energía es un bien escaso y, por tanto caro, que debe ser utilizado de forma eficiente y racional.

Pocos lugares en el mundo poseen condiciones climáticas que sean continuamente óptimas a lo largo del año para la producción animal. El nivel de modificaciones ambientales necesarias no es lo mismo para todas las especies pecuarias. Así, algunas necesitan de pequeñas o incluso de ninguna alteración, mientras que otras requieren tan grandes modificaciones que el microclima interior de los alojamientos se vuelve virtualmente independiente del clima natural (Bruce, 1977). Desgraciadamente, al mismo tiempo que una construcción ganadera significa protección contra el viento, la lluvia, la radiación solar y las temperaturas extremas, restringe también la entrada de aire fresco y la rápida dispersión de gases y agentes patógenos. El conflicto existente es evidente, ya que es deseable mantener ciertas cualidades del aire y eliminar otras.

En la mayor parte de los países del mundo, la legislación actual en materia de bienestar animal tiene en cuenta las llamadas 5 libertades expresadas en el Farm Animal Welfare Council (FAWC, 1985):

- 1 Ausencia de hambre y de sed.
- 2 Animales libres de dolor, heridas o enfermedades.
- 3 Ausencia de malestar térmico y físico.
- 4 Libertad del animal para expresar su comportamiento.
- 5 Ausencia de miedo o sufrimiento.

Es de conocimiento general la enorme influencia ejercida por las condiciones ambientales en la productividad de las diferentes especies animales, con especial incidencia en las aves, cerdos y vacuno de leche. La salud, la productividad, el comportamiento y la producción de calor están influenciados por las condiciones ambientales, y simultáneamente influyen esas condiciones.

El balance térmico de una instalación, como su propio nombre indica, es un balance entre las ganancias y las pérdidas de calor que se dan en un determinado intervalo de tiempo en dicha instalación. Este método permite estimar las necesidades de ventilación, de refrigeración o de calefacción necesarias para obtener unas determinadas condiciones en el interior de las construcciones (Albright, 1990).

Un alojamiento está sujeto a las variaciones climáticas que se dan en el exterior a lo largo del día y en las distintas épocas del año, por lo que hay momentos en que se gana y otros en que se pierde calor, mediante diferentes procesos de transferencia térmica (calor sensible) y másica (calor latente). Tanto las ganancias como las pérdidas de calor modifican el contenido energético del sistema, el que se manifiesta con la alteración de la temperatura. El conocimiento de la dinámica energética es importante para identificar puntos críticos y evitarlos a través de la utilización correcta de técnicas de acondicionamiento ambiental.

La técnica del balance energético admite, por el principio de la conservación de la energía, que las ganancias de calor son iguales a las pérdidas, en determinado momento (formulación estática de la ecuación del equilibrio térmico). Las transferencias de calor entre el interior y el exterior del edificio implican mecanismos complejos de intercambio, relacionados normalmente entre sí, donde intervienen todas las formas de transferencia de calor. Así, los intercambios de calor sensible se dan por conducción (entre medios sólidos en contacto, por ejemplo entre los animales y el suelo, o a través de un mismo medio sólido), convección (debido al movimiento del aire en contacto con los sólidos, por ejemplo el movimiento del aire en torno a los animales) y radiación (de un cuerpo hacia otro cuya temperatura es inferior, me-

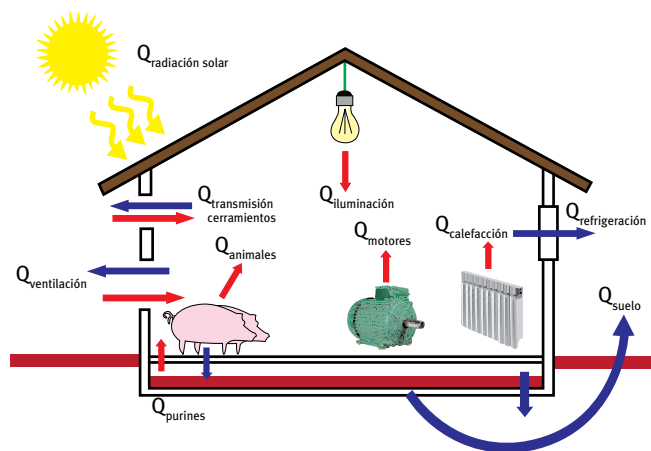
dante ondas electromagnéticas a través del medio que los separa).

La ecuación general del balance térmico de un alojamiento ganadero en situación de equilibrio, puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Q_{RS} + Q_{ani} + Q_{equ} + Q_{ilu} \pm Q_{cc} \pm Q_{ven} + Q_{cal} - Q_{ref} = 0$$

siendo  $Q_{RS}$  las ganancias de calor debidas a la radiación solar,  $Q_{ani}$  las ganancias de calor sensible debidas a los animales,  $Q_{equ}$  las ganancias de calor debidas a los equipos de la instalación (motores, bombas, etc.),  $Q_{ilu}$  las ganancias de calor debidas a la iluminación,  $Q_{cc}$  los intercambios de calor por conducción y convección a través de los paramentos del edificio,  $Q_{ven}$  los intercambios de calor debido a la ventilación,  $Q_{cal}$  las ganancias de calor debidas a los sistemas de calentamiento y  $Q_{ref}$  las pérdidas de calor debidas a los sistemas de refrigeración. La Figura 2.1 esquematiza los intercambios de calor que se producen en una instalación pecuaria.

**Figura 2.1. Esquema general de las transferencias de calor producidas en un alojamiento ganadero (adaptado de Forcada *et al.*, 2009)**



Cada término de esta ecuación de balance está definido por una fórmula matemática que permite su cuantificación para determinadas condiciones, siendo posible determinar experimentalmente todos excepto las pérdidas por convección.

Por otro lado, algunos de los términos de la ecuación general del balance térmico de un alojamiento ganadero son muy pequeños en relación con otros, por lo que son



normalmente despreciados. Por ello, existen ecuaciones simplificadas para el balance térmico considerando las pérdidas y ganancias más importantes para el estudio en cuestión. Así, asumiendo como las más importantes las ganancias de calor liberado por los animales y las pérdidas del edificio por conducción-convección y por ventilación, se puede estimar las necesidades de calefacción y de refrigeración de la siguiente forma:

$$Q_{\text{cal}} = Q_{\text{cc}} + Q_{\text{ven}} - Q_{\text{ani}}, \text{ si } T_e < T_i$$

$$Q_{\text{ref}} = Q_{\text{ani}} + Q_{\text{cc}} + Q_{\text{ven}}, \text{ si } T_e > T_i$$

Siendo  $T_e$  y  $T_i$ , respectivamente, las temperaturas fuera y dentro de la construcción.

### Ganancias de calor debidas a la radiación solar

La intensidad de la radiación solar o irradiancia solar está relacionada con la posición del Sol, que es a su vez función de la latitud, de la época del año y de la hora del día. La radiación solar se divide en radiación directa y difusa, siendo la primera la radiación que alcanza directamente la superficie terrestre sin sufrir ninguna reflexión o difusión al atravesar la atmósfera. La radiación difusa es la parte que llega a la Tierra tras la difusión sufrida al atravesar las capas de la atmósfera. En días claros la mayor parte de la radiación es directa.

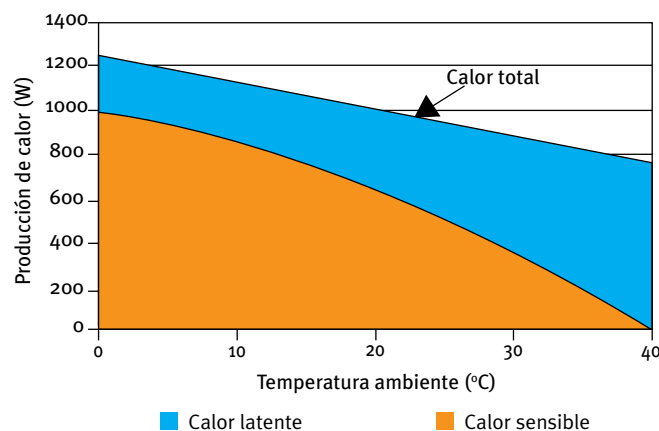
La incidencia de la radiación solar sobre la construcción puede traducirse en una ganancia directa de calor si los rayos del Sol penetran en el interior de la instalación a través de las aberturas, o de forma indirecta por el aumento de la temperatura que se da en paramentos y de cubierta por absorción de la radiación, cuyo calor se transmitirá hacia el interior. Como en la mayoría de las instalaciones pecuarias las aberturas son reducidas, la entrada de radiación solar es reducida, razón por la cual es normalmente considerada como nula. En el caso del efecto indirecto, éste depende sobre todo del nivel de aislamiento térmico de la construcción.

### Ganancias de calor sensible debidas a los animales

Los animales liberan calor bajo las formas de calor sensible y calor latente, verificándose que a medida

que la temperatura ambiente aumenta, disminuyen los intercambios por calor sensible y aumentan los de calor latente (Figura 2.2). La mayoría de los animales en producción son homeotérmicos, es decir, mantienen constante su temperatura corporal a través de varios mecanismos fisiológicos y de comportamiento. La Tabla 2.3 muestra determinados valores del calor sensible producidos por diferentes especies animales, en función de la edad y de la temperatura ambiente.

**Figura 2.2. Producción de calor sensible y de calor latente por parte de los animales en función de la temperatura ambiente** (Pedersen y Sälvik, 2006)



**Tabla 2.3. Producción de calor sensible para diferentes especies animales, en función de su edad y de la temperatura ambiente** (ASAE, 2003)

Especie animal	Edad	Temperatura ambiente (°C)	Producción de calor sensible (W/kg)
Ganado porcino	Lechones	29	2,2
	Recría	20	2,3
	Engorde	15	1,5
	Gestantes	20	1,3
	Verracos	20	1,0
Ganado bovino	Terneras	3	2,4
		23	1,9
	Vacas lecheras	15	1,2
Aves	Gallinas ponedoras	18	3,9
	Pollos de carne	24	6,5

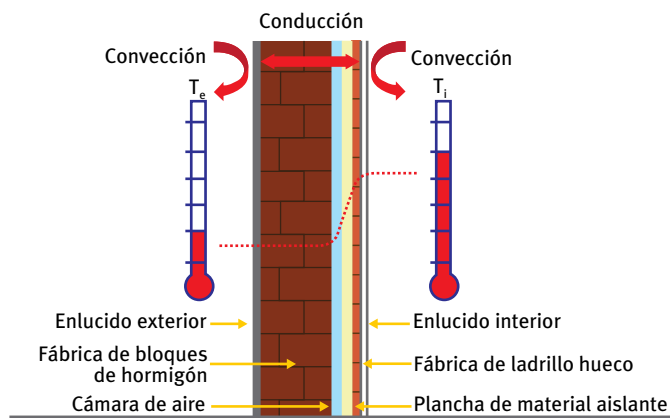
## Ganancias de calor debidas al equipamiento e iluminación

En lo que se refiere al calor liberado en el funcionamiento de algunos dispositivos existentes en el interior de las instalaciones y por el sistema de iluminación, en principio podrá considerarse aproximadamente igual a su potencia. De cualquier manera, estas ganancias de calor en las instalaciones pecuarias son habitualmente pequeñas comparadas con otras, por lo que se pueden despreciar.

## Intercambios de calor por conducción-convección a través de los elementos de la construcción

Estas transferencias de calor por conducción-convección a través de la envolvente del edificio pueden representar ganancias o pérdidas térmicas para el sistema en un determinado momento, dependiendo de la temperatura de los componentes que intervienen en este proceso. Así, suponiendo que la temperatura en el interior es superior a la temperatura exterior, se producirán pérdidas de calor a través del material de la construcción, y ocurrirá lo contrario si la temperatura exterior fuera superior. De modo general, los materiales de construcción de las instalaciones pecuarias no poseen una elevada resistencia térmica, lo que facilita los intercambios por conducción-convección entre el interior y el exterior. La Figura 2.3 esquematiza la transferencia de calor debido a estos procesos.

**Figura 2.3. Intercambios energéticos por conducción-convección a través de los elementos de la construcción**



Los intercambios de calor por conducción-convección ( $Q_{cc}$ , W) que se dan a través de los distintos

elementos del edificio (paredes, puertas, ventanas, suelo y cubierta), se pueden calcular de la siguiente forma:

$$Q_{cc} = A \cdot U (T_i - T_e)$$

siendo:

A	Área del elemento, m <sup>2</sup> .
U	Coefficiente global de transmisión térmica, W/(m <sup>2</sup> ·°C).
T <sub>i</sub>	Temperatura interior, °C.
T <sub>e</sub>	Temperatura exterior, °C.

El coeficiente U es el inverso de la resistencia térmica (R, m<sup>2</sup>·°C/W), y es función de los coeficientes de convección interior e exterior ( $h_i$  y  $h_e$ , W/(m<sup>2</sup>·°C)), del coeficiente de conductibilidad térmica ( $\lambda$ , W/(m·°C)) de los materiales que constituyen el elemento constructivo de espesor e (m). Se determina del siguiente modo:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum_{j=1}^n \frac{e_j}{\lambda_j} + \frac{1}{h_e}}$$

Los intercambios de calor totales a través de la envolvente de la construcción se obtienen haciendo la suma de los intercambios de calor que se dan a través de cada uno de los elementos del edificio:

$$Q_{cc-total} = Q_{cc-paredes} + Q_{cc-puertas} + Q_{cc-ventanas} + Q_{cc-suelo} + Q_{cc-cubierta}$$

Se considera que las pérdidas a través del suelo son solamente pérdidas que ocurren por la zona de unión con las paredes, tomándose como área de transmisión de calor el perímetro del edificio.

Los fabricantes de materiales de construcción disponen de las características de sus productos, entre las cuales constan los valores de conductibilidad térmica. En la Tabla 2.4 se encuentran los valores de conductibilidad térmica de varios materiales de construcción habitualmente utilizados en instalaciones pecuarias. En relación con los valores de  $h_i$  y  $h_e$ , se puede utilizar, respectivamente, 6,98 y 20,94 W/(m<sup>2</sup>·°C).

**Tabla 2.4. Conductibilidad térmica ( $\lambda$ , W/(m·°C)) de varios materiales de construcción empleados habitualmente en construcciones ganaderas**

Material	$\lambda$
Hormigón armado	1,628
Bloques huecos de hormigón	0,488
Ladrillo macizo	0,872
Ladrillo perforado	0,756
Ladrillo hueco	0,488
Mortero de cal	0,872
Mortero de cemento	1,396
Acero	58,153
Madera	0,186
Tablero aglomerado de partículas	0,081
Fibro cemento	0,230
Poliestireno extrusionado	0,033
Poliestireno expandido	0,038
Fibra de vidrio	0,035
Espuma de poliuretano	0,023
Lana de roca	0,050

### Intercambios de calor debidos a la ventilación

La ventilación es reconocida como uno de los factores más importantes en la determinación de las condiciones ambientales en el interior de instalaciones ganaderas. La ventilación de los alojamientos de animales está relacionada con el bienestar animal, su comportamiento y salud, y con factores productivos, como son el índice de conversión, la tasa de crecimiento y la de mortalidad. Un sistema de ventilación correctamente dimensionado permite controlar, dentro de ciertos límites, la temperatura, la humedad, la velocidad del aire y la concentración de gases y de polvo (Baptista y Meneses, 1997).

En las construcciones animales, la ventilación es esencial tanto en épocas de altas temperaturas (condiciones de verano), como de bajas temperaturas (condiciones de invierno). Así, se puede considerar la existencia de dos situaciones perfectamente distintas y tres objetivos principales. Durante el verano, la ventilación se destina a mantener la temperatura interior de los alojamientos en valores aceptables para los ani-

males, siendo ésta, de una forma general, ligeramente superior a la temperatura exterior. Según Albright (1990), la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior deberá mantenerse entre 1,5 a 2 °C con un sistema de ventilación bien diseñado, pudiendo alcanzar un máximo de 4 °C.

En estas condiciones de verano, son necesarias velocidades de aire relativamente elevadas para eliminar el calor sensible producido por los animales, y el aire al entrar en la instalación debe ser directamente dirigido sobre éstos, de manera que se aumente su confort térmico (Hinkle y Stombaugh, 1983; Randall, 1991). Sin embargo, se pueden dar situaciones en las que la temperatura interior presente valores excesivos debido a las elevadas temperaturas verificadas en el exterior y a la entrada de masas de aire con este alto nivel térmico por ventilación, casos en los que el efecto beneficioso del aumento del caudal de ventilación es limitado (Le Dividich y Herpin, 1992). Así, pueden producirse problemas relacionados con la baja humedad relativa y con las ganancias de calor debido a la renovación del aire, lo que implica tener que recurrir a sistemas de refrigeración del aire, como es el enfriamiento por evaporación.

El cálculo del caudal de ventilación en función de la temperatura en condiciones de verano conduce a la determinación de la tasa máxima de renovación de aire, con la cual tienen que ser dimensionadas las áreas de entrada y de salida del aire. En condiciones de invierno, por el contrario, cuando la tasa de ventilación es mínima, bastará con reducir las superficies efectivas de ventilación.

Por otro lado, durante el invierno, el calor no es un factor limitante del microclima interior, sino todo lo contrario, por lo que se intenta reducir las pérdidas y aprovechar al máximo el calor producido por los animales. En esta situación, la tasa de ventilación es mínima, de modo que se mantenga la atmósfera interior respirable, siendo a veces necesario admitir que la temperatura alcance valores por debajo del óptimo. No obstante, en el caso de los animales adultos, si la temperatura no presentar valores muy inferiores a los deseados durante muchas horas

al día o durante largos periodos de tiempo, la producción prácticamente no se ve afectada (Albright, 1990). La precaución que se debe tener es no dejar que el aire incida directamente sobre los animales para evitar problemas pulmonares. El aire procedente del exterior debe, en este caso, ser mezclado con el aire ambiente interior fuera de la zona donde se encuentran los animales.

De modo general, los animales adultos producen calor suficiente para permitir la ventilación sin que sea necesario recurrir a un suplemento de calor, dependiendo naturalmente de la localización. Por el contrario, en el caso de animales jóvenes con menor capacidad de producir calor, a veces es necesario que se proceda al calentamiento de la instalación para que la temperatura no alcance valores perjudiciales, que en casos extremos de hipotermia pueden llegar a conducir a la muerte.

Para calcular los intercambios de calor debidos a la ventilación es necesario conocer el caudal de ventilación, lo que dependerá del objetivo a alcanzar (refrigerar, deshumidificar, purificar, etc.), de la especie animal alojada y de la época del año. Habitualmente, el caudal mínimo de ventilación es aquel que garantice la pureza del aire interior y puede ser calculado mediante un simple balance de masa. Algunos manuales ofrecen valores indicativos para los caudales de ventilación en épocas de verano y de invierno (Tabla 2.5).

**Tabla 2.5. Rango admisible de caudales de ventilación (m<sup>3</sup>/(h·animal)) máximo (verano) y mínimo (invierno), para diferentes especies animales, según diferentes autores**

Especie animal	Edad	Condiciones de verano	Condiciones de invierno
Ganado porcino	Lechones	60	12
	Engorde	125-200	17-29
	Gestantes	200-300	20-30
Ganado bovino	Vacas lecheras	537-675	66-225
Aves		6	1,4

Los intercambios de calor sensible debidos a la ventilación ( $Q_{\text{ven}}$ , W) pueden calcularse a través de la siguiente expresión:

$$Q_{\text{ven}} = V \cdot \rho \cdot C_p (T_i - T_e)$$

Siendo:

- V Caudal de ventilación, m<sup>3</sup>/s.
- $\rho$  Densidad del aire, kg/m<sup>3</sup>.
- $C_p$  Calor específico del aire, J/(kg·°C).
- $T_i$  Temperatura interior, °C.
- $T_e$  Temperatura exterior, °C.

Al realizar los cálculos del balance térmico en una instalación pecuaria pueden darse tres situaciones:

- Las ganancias de calor son inferiores a las pérdidas, luego la temperatura interior es inferior al valor que se quiere obtener. En este caso es necesario recurrir a la utilización de técnicas de calentamiento.
- Las ganancias de calor son superiores a las pérdidas, lo que significa que la temperatura es superior a la deseada, siendo necesario recurrir a técnicas de enfriamiento, como la ventilación natural o forzada, asociada o no a sistemas de enfriamiento por evaporación o a medidas de reducción de las ganancias de calor debidas a la radiación solar (como por ejemplo, aumentar el nivel de aislamiento térmico de la cubierta o el empleo de técnicas de sombreo).
- El balance está equilibrado y por tanto no es necesario actuar a nivel de climatización.

Las diferentes técnicas de climatización posibilitan el control de las condiciones ambientales en el interior de los alojamientos. Los objetivos son, principalmente, el control de la temperatura y de la humedad, empleando sistemas de calentamiento, enfriamiento y de ventilación, con el menor consumo energético y la mayor eficiencia posibles.

## 3 Medidas de ahorro energético y mejora de la eficiencia energética

---

### 3.1 Introducción

En las explotaciones ganaderas se puede mejorar la eficiencia energética y ahorrar energía actuando esencialmente en cuatro niveles: el aislamiento y la estanqueidad de las construcciones, los equipos de calefacción, los sistemas de refrigeración y ventilación y, finalmente, los dispositivos de iluminación. En todos los casos el objetivo es obtener unas condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo, la productividad, la sanidad y el bienestar de los animales, con el menor consumo posible de energía.

Sistemas de climatización correctamente diseñados en función de la localización de la instalación, de la especie animal y de su fase de desarrollo, y la inversión en mayor aislamiento del edificio en lugar de sobredimensionar los equipos de acondicionamiento ambiental, contribuirán decisivamente a reducir los consumos energéticos necesarios para la climatización de las instalaciones ganaderas. Como medidas complementarias para ahorrar energía en la refrigeración del aire interior de los alojamientos se pueden citar técnicas para disminuir las ganancias de calor por absorción de la radiación solar, como son el sombreado o pintar de blanco los paramentos de las edificaciones para potenciar la reflexión de los rayos solares. También ayudarán a disminuir el consumo de energía la correcta orientación de las construcciones, evitando su exposición a los vientos que aumentan la tasa de pérdidas de calor, y la variación de la densidad animal, mayor en invierno y menor en verano, así como la adaptación del tipo de alimentación de los animales en función de la época del año.

Las distintas características constructivas y los equipamientos específicos habitualmente empleados en las explotaciones de cerdos, aves y bovinos u ovinos de leche, permiten distinguir las medidas de mejora de la eficiencia energética propias de cada cabaña. Así, en la producción porcina, las instalaciones y las necesidades ambientales, y en consecuencia los equipos de climatización, son diferentes en cada fase del ciclo productivo. Por ejemplo, en las naves de cerdas madre es necesario mantener condiciones ambientales adecuadas para las madres, pero también y sobre todo para los lechones, lo que implica normalmente el uso de sistemas de calefac-



ción localizada. Igualmente, los costes de energía para la climatización de construcciones destinadas a alojar aves son importantes, y los técnicos y ganaderos conocen la relevancia de un buen aislamiento y de la estanqueidad del edificio como forma de ahorrar energía y mejorar el rendimiento de los equipos de climatización.

Los sistemas informáticos correctamente configurados son también una herramienta muy útil para el ganadero, que permite ahorrar energía mediante la aplicación de algoritmos de control diseñados para este fin, como aquellos que tienen en consideración la combinación de las necesidades de calefacción y de ventilación mínima, o mediante el establecimiento de perfiles horarios de consignas climáticas y la gestión eficiente del consumo en función del coste horario de la energía.

### 3.2 Elementos constructivos y aislamiento

Tal y como se ha mencionado en el Capítulo 2, los intercambios de calor por conducción-convección a través de los paramentos de la construcción dependen de las características térmicas de los materiales constituyentes y de las condiciones ambientales del interior y exterior de la misma. De hecho, dependiendo de las condiciones climáticas en la localización de la explotación, el nivel de aislamiento de la construcción será más o menos importante (Tabla 3.1). Hay que dejar constancia de que un buen aislamiento reducirá las pérdidas de calor en invierno y las ganancias en verano, lo que se traducirá en un ahorro de energía para la correcta climatización.

**Tabla 3.1. Nivel de aislamiento recomendado en función de las condiciones climáticas en la localización de la nave ganadera**

Condiciones climáticas	Nivel de aislamiento recomendado		
	Bueno	Medio	Mínimo
	Coeficiente de transmisión térmica (W/(m <sup>2</sup> ·°C))		
Muy caliente o muy frío	0,34 a 0,45	0,45 a 0,67	0,67 a 1,11
Moderadamente caliente o frío	0,45 a 0,67	0,67 a 1,11	1,11 a 1,43
Templado	0,67 a 1,11	1,11 a 1,43	1,43 a 2,00

Las medidas de ahorro energético que se suelen implementar cuando son analizados los aspectos constructivos de las explotaciones son las siguientes:

- 1 Aumento del nivel de aislamiento de las paredes.
- 2 Aislamiento de puertas y cubierta.
- 3 Sellado de puertas y ventanas para evitar infiltraciones.
- 4 Protecciones de sombreado para evitar el sobrecalentamiento debido a la incidencia de la radiación solar durante los meses de verano.

Un aspecto de gran importancia es el aislamiento de las cubiertas, ya que gran parte de los intercambios de calor ocurren a través de la misma (Figura 3.1). Es relevante indicar que el aislamiento debe extenderse también a todos los restantes elementos constructivos en contacto con el ambiente exterior, esto es, paredes, puertas, ventanas y suelo, como medida de reducción de las pérdidas de calor y por ello de ahorro de energía. Es evidente que el coste de este tipo de edificios será mayor que el de otros que no tengan un buen nivel de aislamiento, pero es necesario hacer cálculos y comprobar el tiempo de retorno de la inversión, para analizar si el ahorro económico por la disminución del consumo de energía compensa la inversión inicial. Además, hay que considerar que las naves ganaderas bien aisladas permiten de modo más sencillo obtener las condiciones de confort animal y, por lo tanto, reducir los consumos de energía por el funcionamiento de los equipos de climatización.



Figura 3.1. Aislamiento de la cubierta en una nave de pollos con poliuretano proyectado

Los alojamientos de vacuno de leche se caracterizan en su mayoría por disponer de grandes aperturas (Figura 3.2). De hecho, el ganado bovino no sufre especialmente con las bajas temperaturas, ya que la producción de leche prácticamente no se ve afectada con variaciones de la temperatura ambiente entre  $-1$  y  $22$  °C. No obstante, el viento es un aspecto importante a considerar durante el invierno, ya que en naves muy abiertas se deja a los animales demasiado expuestos a la acción del mismo. Igual que en verano esta circunstancia puede contribuir a aumentar la sensación de frescura y bienestar, en invierno puede ser un problema si la velocidad del aire es elevada y la temperatura muy baja, pudiendo ser perjudicial para la salud de los animales ya que se propicia la aparición de neumonías. Una solución a esta situación es recurrir al empleo de barreras cortavientos fijas o móviles (Figura 3.3), o a barreras naturales, como son las formaciones de árboles, que limitan la entrada del aire en la nave, o al menos limitan su velocidad, lo cual además permite disminuir las pérdidas de calor por convección.

Por otro lado, durante el verano es cuando pueden ocurrir mayores problemas debido a las elevadas temperaturas, con efectos negativos importantes, por ejemplo en la producción de leche por el ganado vacuno. Una forma de disminuir estas grandes ganancias de calor es aumentar el nivel de aislamiento térmico de la cubierta, que expuesta a la radiación solar durante todo el día, se calienta y transmite importantes cantidades de calor al interior del alojamiento.



Figura 3.2. Imagen interior de una explotación de vacuno de leche, con ventiladores para la circulación del aire, dotados de nebulizadores de refrigeración



Figura 3.3. Ejemplo de barrera cortavientos móvil en un alojamiento de bovinos de leche (vistas interior y exterior)

### 3.3 Equipos de calefacción y distribución del calor

Con la calefacción se pretende proporcionar durante las épocas frías el calor suplementario necesario para obtener las condiciones térmicas adecuadas en el interior de las instalaciones.

La calefacción de las construcciones es sin duda uno de los procesos que más energía consume, identificándose como primer método de ahorro energético la sustitución de la calefacción general ambiental de la nave por la localizada en el entorno donde se desarrolla la actividad del animal. En este sentido, los sistemas más frecuentemente utilizados para cada uno de estos dos métodos de calefacción son los siguientes:

- Calefacción por convección. Con estos sistemas se calienta el aire ambiente con el objetivo de obtener una temperatura homogénea en toda la nave. Se pueden utilizar aerotermos o generadores de calor, siendo en ambos casos el aire calentado e impulsado dentro de la instalación, con la diferencia de que los aerotermos (Figura 3.4) toman el aire del interior mientras que con los generadores de calor (Figura 3.5) el aire es aspirado desde el exterior. Los dos equipamientos pueden funcionar con gas, energía eléctrica o gasóleo.
- Calefacción por radiación. Estos sistemas se utilizan para calefacción localizada, pudiendo funcionar con gas, energía eléctrica u otros combustibles, como biomasa o carbón. Pueden ser radiadores, placas radiantes, lámparas eléctricas de infrarrojos o suelos/mantas radiantes (Figura 3.6), y en todos los casos el calor es transmitido por radiación: la emisión de radiación infrarroja del foco de calor llega a los cuerpos de los animales, que la absorben aumentando su tempera-

tura. Una de las aplicaciones más importantes de la calefacción localizada en producción ganadera es el calentamiento de los lechones en las naves de cerdas madre mediante suelo caliente, sistema en el que se dispone de un circuito cerrado con tubos de agua caliente ubicados en el suelo, desde el que el calor se transmite por radiación y conducción.



Figura 3.4. Aerotermo de gas (Foto cedida por Asdrubal Neves)



Figura 3.5. Ejemplos de generadores de calor (Fotos cedidas por Asdrubal Neves)

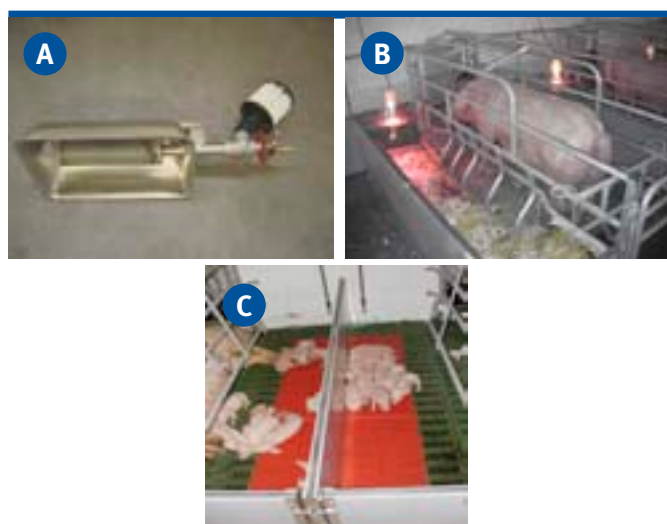


Figura 3.6. Sistemas de calefacción localizada: A, placa radiante; B, lámpara de infrarrojos; C, suelo radiante (Fotos cedidas por Asdrubal Neves)

Para el manejo del sistema de calefacción con el objetivo de la mejora de la eficiencia energética son importantes las siguientes consideraciones:

- Disponer medios de regulación/control automática de la calefacción mediante el uso de sensores, de forma que se respeten las consignas de temperatura y se eviten los consumos innecesarios de energía. En este sentido, el empleo de sistemas informáticos de control contribuye muy eficazmente a la obtención de las condiciones ambientales deseadas y a una gestión más eficiente de la energía, lo que posibilita la reducción del consumo y de la factura energética.
- Ventilar las naves con el caudal mínimo necesario para el correcto control de los gases, de modo que se reduzca al mínimo el volumen de aire frío introducido en el interior de los alojamientos.
- Seleccionar sistemas de calefacción localizados ya que son más eficientes.
- Zonificar la nave y regular térmicamente de forma independiente cada zona.
- Realizar una correcta mantenimiento y limpieza de los equipos.
- Aislar térmicamente los tubos/conductos de distribución del aire o agua caliente, con el objetivo de evitar pérdidas de calor en el trayecto.

### 3.4 Equipos de refrigeración y ventilación

La ventilación es muy importante en la determinación de las condiciones ambientales adecuadas del interior de las naves ganaderas, las cuales cambian en las diferentes fases del ciclo productivo. Es muy importante que la tasa de ventilación sea correctamente calculada, que el sistema de ventilación esté bien dimensionado y que la distribución del aire en el interior del alojamiento sea homogénea. Se pueden emplear dos tipos de ventilación: natural o forzada.

La ventilación natural es la forma tradicional y más sencilla de ventilación, y consiste en el manejo (apertura/cierre) de ventanas de modo manual o automático (Figura 3.7) en función de las condiciones del interior de los alojamientos. La tasa de ventilación resulta de un diferencial de presión dentro y fuera de la abertura causado por el viento y la impulsión térmica.



Tiene la ventaja de su bajo consumo de energía y de una menor inversión inicial, pero es dependiente de las condiciones ambientales exteriores (velocidad del viento y temperatura) y es más difícil de gestionar.



Figura 3.7. Sistema de ventilación natural con control automático electrónico (Foto cedida por Asdrubal Neves)

Por su parte, en la ventilación forzada o dinámica la energía eléctrica es transformada en energía mecánica con ayuda de ventiladores que provocan el movimiento del aire hacia dentro (admisión) o hacia fuera (extracción) de la nave (Figura 3.8). Permite un control mayor de las condiciones ambientales interiores que la ventilación natural, pero necesita una mayor inversión en equipamiento, tiene mayores costes de mantenimiento y un consumo de energía relevante. Los ventiladores más usados son helicoidales ya que permiten mover grandes volúmenes de aire variando poco la presión del local.

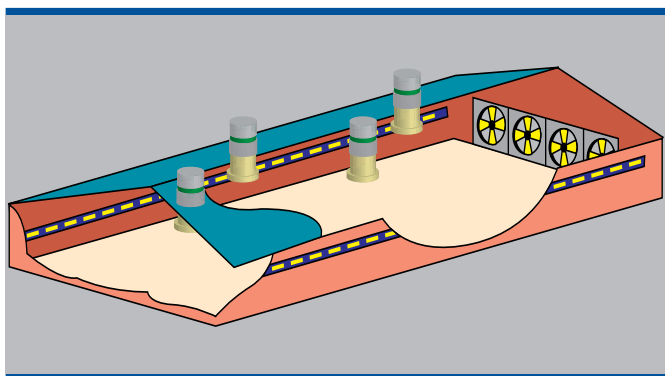


Figura 3.8. Sistema de ventilación forzada con ventiladores de admisión y chimeneas de extracción del aire

La utilización de equipos de control y regulación permite un control adecuado de las renovaciones del aire.

En la actualidad hay disponibles en el mercado múltiples sistemas, más o menos complejos y caros. Los sistemas más sencillos pero también más empleados están basados en termostatos que controlan la operación de los motores del sistema de ventilación en función de la medida de la temperatura interior de la edificación. Estos termostatos pueden enviar acciones de control únicamente de apertura/cierre (ventilación natural) o arranque/paro (ventilación forzada) o de tipo regulado, en donde el grado de apertura de las ventanas (ventilación natural) o la velocidad de giro de los ventiladores (ventilación forzada) depende linealmente (estrategia de control proporcional) de la diferencia entre la temperatura medida en el interior y la temperatura de consigna que se desea tener. Por otro lado, en ventilación natural se emplean los sistemas llamados anti-asfixia, en donde las ventanas toman la posición de abiertas ante un fallo del suministro eléctrico en la instalación.

En el manejo del sistema de ventilación es importante no olvidar que en producción animal debe existir una tasa de ventilación mínima que garantice la calidad del aire interior. En invierno, hay que evitar las pérdidas de calor por una actuación innecesaria de la ventilación, pero también hay que realizar la renovación de aire necesaria de forma que se garantice que el aire está libre de contaminantes, como gases y polvo, lo que implica un control conjunto efectivo entre la ventilación y la calefacción. En verano, si la temperatura exterior es mayor que la deseada en el interior, la ventilación contribuirá a aumentar el nivel térmico de la nave. En estos casos, el caudal de ventilación será el mínimo exigido por el mantenimiento de la calidad del aire interior, consiguiéndose un balance energético positivo del ambiente interior en base al empleo de algún sistema de refrigeración activa.

La refrigeración del ambiente interior de los alojamientos ganaderos significa la introducción en los mismos de aire exterior o de aire interior recirculado que previamente ha sido refrigerado. Los sistemas de refrigeración más utilizados en naves ganaderas son sistemas de refrigeración evaporativa, siendo muy poco empleados, por sus mayores costes, los de refrigeración sensible.

El principio físico de la refrigeración evaporativa es la evaporación del agua y la absorción de su calor latente de cambio de estado para conseguirla (2.253 kJ por cada kg de agua que evapora). Aprovechando este fenómeno, en los dispositivos de refrigeración evaporativa se pone en contacto una corriente de aire caliente y seco con una masa de agua, a la cual el aire cede energía para que evapore, por lo que el aire baja su temperatura al mismo tiempo que aumenta su contenido en humedad. Esto hace que los dispositivos de refrigeración evaporativa aumenten su rendimiento en localizaciones con condiciones ambientales de baja humedad.

Existen dos sistemas evaporativos: los paneles evaporadores asociados a ventiladores que funcionan por extracción (Figura 3.9) y los nebulizadores asociados a ventiladores que operan por impulsión (Figura 3.10). Los primeros son utilizados con frecuencia en las naves de pollos y cerdos, y los segundos en alojamientos de vacuno de leche. En este caso, la necesidad de la refrigeración viene justificada por el hecho de que las vacas reducen mucho su producción de leche con temperaturas ambientales superiores a los 22 °C, las cuales no son difíciles de conseguir durante los meses de verano.

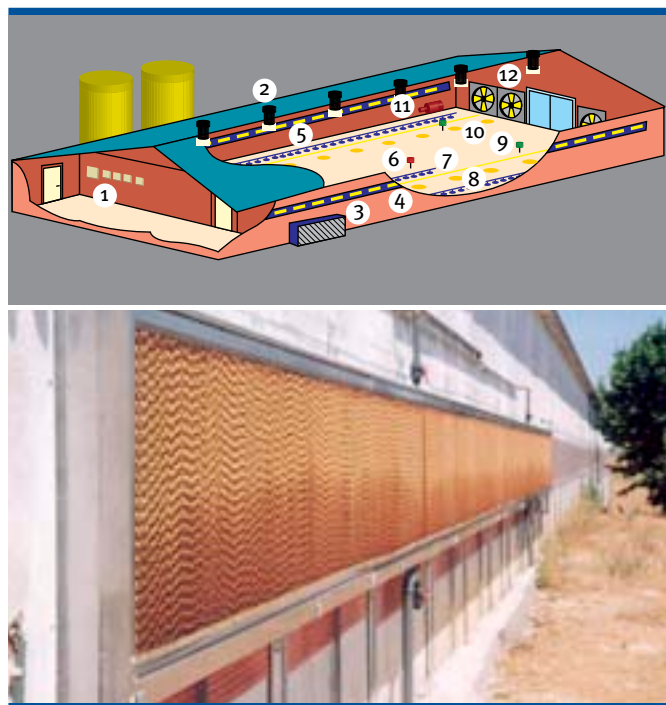


Figura 3.9. Sistema de refrigeración evaporativa basado en paneles evaporativos asociados a ventiladores que funcionan por extracción (Foto cedida por Asdrubal Neves): 1, zona de acceso; 2, extractores; 3, paneles evaporativos; 4-5, ventanas; 6-9, sensores; 7, bebederos; 8-10, comederos; 11, sistema de calefacción; 12, ventiladores extractores



Figura 3.10. Sistema de refrigeración evaporativa basado en nebulizadores asociados a ventiladores que operan por impulsión

Para que los sistemas de ventilación y de refrigeración sean eficientes hay que tener en cuenta algunas precauciones:

- El cálculo de los caudales de ventilación y de las necesidades de refrigeración debe resultar de un estudio detallado y estar basado en las condiciones climáticas de la zona y de la especie animal, además de en las características constructivas y de los equipos de climatización disponibles.
- El diseño de las instalaciones debe ser adecuado a los cálculos anteriores, de manera que no se encuentren ni sobredimensionados, lo que significaría un consumo innecesario de energía, ni subdimensionados, lo que significaría que las condiciones ambientales deseadas no serían alcanzadas.
- La programación del sistema de control y de regulación automático debe garantizar el correcto funcionamiento de los sistemas. Conviene recordar que los sensores deben estar localizados en la zona de los animales.
- En los sistemas de refrigeración evaporativa por paneles hay que garantizar que la entrada del aire se hace a través de los paneles y no por huecos o aberturas que puedan existir, ya que en este caso se permitiría la entrada de aire caliente, con lo que

aumentarían las necesidades de energía para enfriamiento.

- La manutención y limpieza de todos los componentes de los sistemas.
- Siempre que con la ventilación natural se puedan obtener las condiciones ambientales adecuadas, será preferible, por no necesitar de energía para funcionar.
- La formación del personal técnico es esencial para conocer cómo funcionan los sistemas de climatización y las formas de ahorrar energía con ellos.

Por otro lado, en producción de leche, el principal consumo de energía se produce durante el ordeño y el enfriamiento y mantenimiento de la leche a baja temperatura hasta su salida de la explotación. Los equipos de ordeño deben estar diseñados en función del número de animales, el número de trabajadores que asistan durante el proceso y un tiempo máximo de 1,5 a 2 h por ordeño. Con un buen rendimiento del proceso de ordeño se posibilita la reducción del consumo de energía, ya que se reduce el tiempo de utilización de todos los equipos (motores, bomba de vacío, iluminación, etc.).

Después del ordeño, se debe bajar la temperatura de la leche desde los 35 °C hasta los 3-4 °C. En las explotaciones más modernas se emplea un preenfriamiento de la leche mediante intercambiador de placas con agua fría (Figura 3.11), con lo cual se puede reducir la temperatura de la leche a la entrada del enfriador en cerca de 12 °C. El agua caliente obtenida puede ser utilizada para limpieza de la sala o de los equipos de ordeño, contribuyendo de esta forma al aumento de la eficiencia energética y, al mismo tiempo, a la disminución del consumo de la energía necesaria para caldear el agua. También el calor cedido por los condensadores del tanque de refrigeración de la leche puede ser aprovechado para calentar agua (Figura 3.11), que se usará asimismo normalmente en tareas de limpieza.



Figura 3.11. Sistema de preenfriamiento de la leche mediante intercambiador de placas con agua fría (imagen de la izquierda) y acumulador aislado para almacenar el agua caliente obtenida mediante recuperación del calor de condensación del tanque de enfriamiento de la leche (imagen de la derecha)

### 3.5 Equipos de iluminación

Habitualmente, las explotaciones ganaderas no necesitan elevados niveles de iluminación, por lo que no se requieren altas potencias eléctricas instaladas para alimentar la instalación de alumbrado. Lo recomendable en este caso es la utilización de lámparas de alta eficiencia energética y bajo consumo. Además, el sistema de iluminación, como cualquier otro equipamiento, deberá estar correctamente diseñado y sometido a las revisiones periódicas y limpieza correspondientes, con objeto de aumentar su rendimiento. Así, en los alojamientos de porcino de engorde se recomiendan niveles de iluminación de 50 lux, 10 lux para los de aves de puesta y 30 lux para los de conejos. Pero no sólo la iluminancia es importante, sino también el tiempo de exposición, recomendándose 8 h/día para las explotaciones porcinas, 16 h/día para las de avicultura de puesta y cunicultura, y 20 h/día para las de avicultura de carne.

Un adecuado nivel de iluminación es imprescindible para el desarrollo de cualquier actividad por parte del hombre, en este caso las correspondientes a la producción comercial en las explotaciones ganaderas. El objetivo principal del sistema de iluminación es, por tanto, proporcionar un alumbrado eficiente energéticamente y con una calidad tal que asegure el mantenimiento de la productividad y la seguridad de los trabajadores.



El elemento fundamental de las instalaciones de iluminación que determina el comportamiento energético de las mismas son las lámparas, valorándose su eficiencia en términos de rendimiento luminoso (flujo luminoso emitido por unidad de potencia eléctrica absorbida). Atendiendo a este parámetro, las lámparas más eficientes son las de descarga en gases frente a las incandescentes, destacando en concreto las lámparas fluorescentes (normales o compactas), las de vapor de sodio (a alta y baja presión) y las de halogenuros metálicos (Figura 3.12). Otras características importantes de las lámparas de descarga en gases son su potencia eléctrica, flujo luminoso (energía luminosa emitida por unidad de tiempo) e índice de rendimiento en color (capacidad de reproducir correctamente los colores de los objetos iluminados, tomando como base 100 la de la reproducción perfecta), tal y como se muestra en la Tabla 3.2.

Todas las lámparas industriales de descarga en gases metálicos necesitan de un equipamiento auxiliar para su correcta operación. Este equipamiento puede ser:

- **Reactancia o balasto.** Existen dos tecnologías distintas, la electromagnética y la electrónica. La primera de ellas supone un consumo adicional de la lámpara de un 25% de su potencia nominal. Los balastos electrónicos eliminan este consumo adicional y añaden una serie de ventajas, como que incluyen arrancador y condensador integrados, de forma que solo hay que instalar un equipo. Son más caros que los electromagnéticos pero se amortizan rápidamente por el menor consumo y la mayor duración de las lámparas.
- **Arrancador.** En algunas lámparas es necesario un elemento que permita elevar la tensión inicial en el momento del encendido por encima de un umbral, a partir del cual la lámpara es capaz de mantenerse en funcionamiento por sí misma.
- **Condensador.** Utilizado para la corrección del factor de potencia, ya que en lámparas fluorescentes y de descarga, debido a la reactancia, es muy bajo.

Por otro lado, la operación eficiente desde el punto de vista energético de una instalación de iluminación

viene dada por la adecuada gestión del modo de funcionamiento, del nivel de iluminación y del tiempo de encendido de las lámparas, factores que dependen del sistema de control y gestión que se emplee. Los sistemas más utilizados son los siguientes:

- **Programadores horarios.** Son interruptores horarios que se utilizan para controlar grupos de lámparas en locales cuya ocupación siga un patrón temporal muy definido (diario, semanal, etc.).
- **Detectores de presencia.** Se activa por presencia y se mantiene por presencia o sonidos. Su utilización resulta interesante en locales de ocupación esporádica, como almacenes, vestuarios, pasillos, etc.
- **Reguladores de luz.** Permiten variar el flujo luminoso de las fuentes de luz en una instalación de alumbrado. Su principal objetivo es reducir el nivel de iluminación a determinadas horas y obtener un importante ahorro energético. La aplicación más importante de este tipo de elementos es en locales con cierto grado de iluminación natural. De este modo se aprovecha de forma óptima el aporte de luz natural y se obtiene un considerable ahorro de energía.



Figura 3.12. Diferentes tipos de lámparas de descarga en gases: A, lámparas fluorescentes; B, lámparas compactas; C, lámparas de vapor de sodio a alta presión; y D, lámparas de halogenuros metálicos

**Tabla 3.2. Características más importantes de las lámparas de descarga en gases**

Lámpara	Potencia (W)	Flujo Luminoso (lm)	Rendimiento luminoso (lm/W)	Índice de rendimiento en color	Vida útil (h)	Coste
Fluorescente	58	5.400	93	60-95	10.000	Bajo
Fluorescente compacta	15	1.000	60	60-95	8.000	Bajo
Vapor de mercurio a alta presión	250	13.000	52	40-60	14.000	Medio
Vapor de sodio a alta presión	150	14.000	93	20-40	20.000	Alto
Halogenuros metálicos	250	17.500	70	70-90	12.000	Alto

### 3.6 Equipos de control y automatización

En producción animal intensiva, como es el caso de la mayoría de las explotaciones de cerdos y de aves, es importante que los equipos de climatización sean controlados por un sistema informático, que de modo automático pueda regular el funcionamiento de todos ellos en función de los parámetros ambientales en cada momento. Con esto se mejora la calidad de vida del ganadero y también se garantiza una regulación más objetiva ya que se basa en mediciones de temperatura, humedad y, en algunos sistemas, de CO<sub>2</sub>.

Estos sistemas pueden ser más o menos complejos, y están formados por sensores, reguladores de los sistemas de calefacción, ventilación y refrigeración, sistema de seguridad, alarmas y ordenador (Figura 3.13).



Figura 3.13. Equipo electrónico para la regulación integrada de todos los sistemas de climatización de una nave ganadera



## 4 Aplicación de las energías renovables

---

### 4.1 Introducción

El consumo de combustibles fósiles y la consecuente emisión de gases de efecto invernadero (GEIs) es uno de los factores fundamentales, por no decir el principal, que influyen en el problema medioambiental mundial que se ha venido a denominar como “Cambio Climático”. Por ello, de las reservas de combustibles fósiles económicamente recuperables existentes en la actualidad, no se debería consumir más que la cuarta parte si se quiere que el planeta sobreviva a esta problemática. Así, para no sobrepasar estos límites ecológicos, la humanidad dispone de un limitado “presupuesto” o cuota de carbono para emitir a la atmósfera en forma de CO<sub>2</sub>, estimándose que al ritmo actual de consumo de combustibles fósiles, este presupuesto acabará en unos 30 años. Con este panorama, es imprescindible reducir el consumo de energías que tengan consecuencias medioambientales tan negativas, y sustituirlas por fuentes de energía limpia y renovable.

Efectivamente, la matriz energética mundial en general, y la española en particular, todavía están fuertemente desviadas hacia los combustibles fósiles, con una participación total del 80%, siendo 36% petróleo, 23% carbón mineral y 21% gas natural. Son muchos los estudios que apuntan a un agotamiento de las fuentes de energía fósil para las próximas cuatro o cinco décadas, por lo que es fundamental la búsqueda de fuentes alternativas de energía. Además, los constantes conflictos en los países del Oriente Medio, donde se localizan cerca del 80% de las reservas de petróleo conocidas actualmente en el mundo, provocan inestabilidad en el suministro y oscilaciones en los precios de los combustibles fósiles que son inadmisibles para los países desarrollados, y que fuerzan a los mismos a buscar alternativas que permitan reducir su dependencia energética exterior.

Por todo lo mencionado anteriormente, una de las herramientas más efectivas para mejorar la gestión energética española de los sectores productivos y, en concreto, del sector ganadero, es la disminución del uso de las energías convencionales, normalmente energía eléctrica suministrada por la red de suministro público, gasóleo, gas natural o GLP, sustituyéndolas por energías renovables, las cuales suponen un bajo impacto

ambiental en el aprovechamiento energético, con menores emisiones de GEIs.

Existen diversas fuentes energéticas consideradas como renovables, y entre ellas, las que tienen mayores posibilidades de aplicación en las explotaciones ganaderas son las siguientes:

- Energía solar térmica.
- Energía solar fotovoltaica.
- Energía de la biomasa sólida.
- Energía geotérmica de baja entalpía.

A continuación se hace una descripción de las posibilidades y restricciones de empleo de algunas de estas energías renovables.

## 4.2 Energía solar

La energía solar ha sido y sigue siendo aprovechada en la Tierra en mayor o menor medida por el hombre a lo largo de su historia, de forma directa mediante calentamiento de un fluido caloportador o del ambiente interior de una edificación, o mediante transformación en electricidad, y de forma indirecta mediante los aerogeneradores o el aprovechamiento de la biomasa. Sin embargo, cuando se habla de instalaciones de energía solar se hace referencia al aprovechamiento directo de la misma, que en la actualidad se hace fundamentalmente mediante tres tipos de tecnologías:

- 1 Instalaciones de energía solar térmica (EST) de baja temperatura (temperatura de trabajo inferior a 100 °C), cuya aplicación más importante es la producción de agua caliente para uso sanitario o de calefacción, y en menor medida aunque en constante aumento, la generación de agua fría para refrigeración de ambientes interiores.
- 2 Instalaciones EST de media o alta temperatura, cuya principal aplicación es la generación eléctrica mediante sistemas termosolares de concentración.
- 3 Instalaciones de energía solar fotovoltaica (ESF), en las cuales, aprovechando el efecto fotovoltaico producido en materiales semiconductores dopados, se obtiene energía eléctrica.

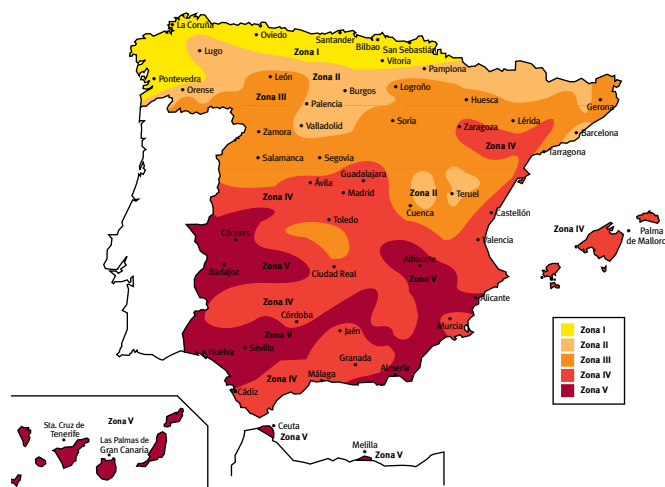
En general, sea cual sea el tipo de aprovechamiento de la energía solar, todas ellas presentan unas características comunes. Las principales ventajas son:

- 1 Es abundante (la energía diaria incidente es 10.000 veces superior al consumo energético de la humanidad) y perdurable (vida estimada del Sol no menor de 5.000 millones de años).
- 2 Es dispersa (llega en mayor o menor cantidad a todos los lugares de la Tierra, lo cual favorece una producción energética más distribuida que la actual) y poco contaminante (su utilización no contribuye al calentamiento terrestre, salvo en la fase de producción de componentes).

Como desventajas más relevantes caben mencionar las siguientes:

- 1 Es semialeatoria (ciclos días nublados/claros, día/noche e invierno/verano), lo que lleva a tener que disponer dispositivos de almacenamiento energético o a complementar la energía solar con otras fuentes energéticas (generando instalaciones híbridas de biomasa, eólica o combustibles fósiles) para poder mantener constante el consumo.
- 2 La densidad energética es baja, lo que también implica tener que habilitar grandes superficies de captación (costes de inversión elevados) para producir potencias relevantes.

**Figura 4.1. Mapa de irradiancia solar en España, con la división del territorio nacional en zonas climáticas establecida por el Código Técnico de la Edificación a**



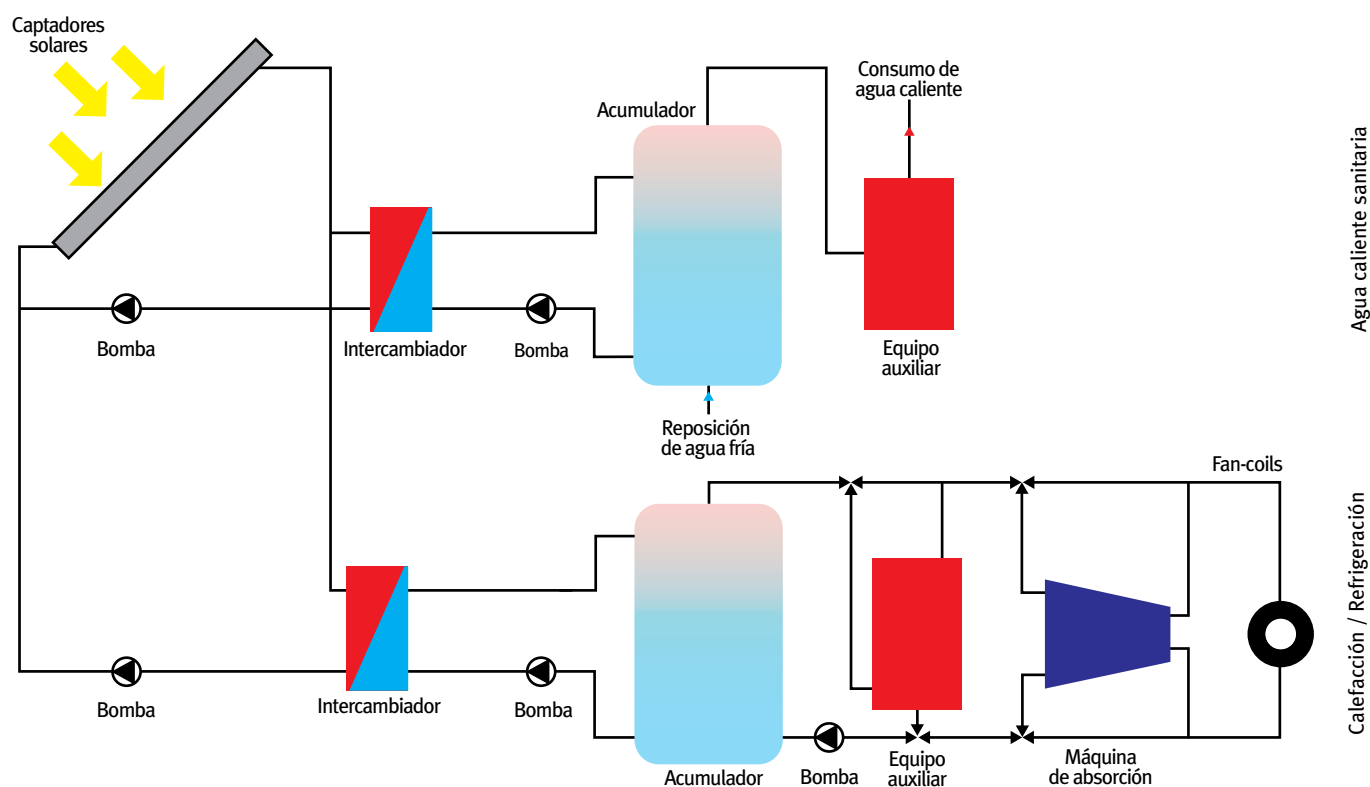


## 4.2.1 Energía solar térmica de baja temperatura

Las instalaciones de energía solar térmica de baja temperatura (EST-BT) tienen como objetivo la producción y almacenamiento de agua caliente mediante la conversión térmica de la radiación solar. En la actualidad, su uso más extendido (90% de la superficie captadora instalada) y rentable es el uso sanitario, seguido de la calefacción y la climatización de piscinas cubiertas en aplicaciones domésticas y del sector servicios. Otra

aplicación, aún limitada pero que está experimentando un gran desarrollo tecnológico en los últimos años y para la que se prevé un importante auge en el futuro más próximo, es la refrigeración solar, la cual se configura acoplando a la instalación solar una máquina de absorción, que permite la generación de agua fría a partir del agua caliente producida por el sistema solar. En este caso la instalación EST-BT posibilita resolver la climatización completa (calefacción y refrigeración) de la explotación (Figura 4.2).

**Figura 4.2. Esquema de la climatización completa (calefacción y refrigeración) y producción de ACS de una explotación mediante una instalación de EST-BT**



La expansión de la EST-BT es aún baja en Europa (el mercado solar térmico europeo sólo representa el 10-15% del mercado mundial) y en España (en el año 2009 se estimaba una media de 45 m<sup>2</sup> de captadores solares planos por cada 1.000 habitantes), aunque en los últimos años se viene observando un rápido crecimiento del mismo (entre el 25 y 30% de crecimiento anual de la superficie instalada), debido a la puesta en marcha de políticas claras de difusión, en España materializadas en la obligatoriedad de la contribución

solar para la generación de agua caliente sanitaria (ACS) establecida en el Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006 (BOE de 28/03/2006).

Por último, indicar que la EST-BT es tecnológicamente madura y con un grado de fiabilidad en su utilización como cualquier otra tecnología industrial. Los avances técnicos en los que se están dirigiendo las investigaciones pasa por la utilización de nuevas y

más eficientes formas de almacenamiento de la energía térmica (empleo de sales eutécticas) y el desarrollo de captadores con mayor rendimiento (captadores esféricos y bifaciales).

### La EST-BT en el sector agropecuario

En las explotaciones ganaderas es necesario realizar tareas de limpieza de equipamientos, algunos de ellos formando parte del procesado alimentario, así como cuidar de la higiene de los animales y de las personas que trabajan en la instalación, por lo que la principal aplicación de los sistemas de EST-BT será la producción de ACS. A título orientativo, en este tipo de utilidades en España, 1 m<sup>2</sup> de captador solar plano es capaz de producir diariamente, como media anual, 50 l (en la mitad norte) y 70 l (en la mitad sur) de agua caliente a 45 °C.

En la actualidad y para cualquier edificación de nueva construcción o rehabilitación de edificaciones ya existentes con un consumo de ACS superior a 50 l/día, el Código Técnico de la Edificación, aprobado según RD 314/2006 (BOE 28/03/2006), obliga en su Documento Básico HE4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria), que una parte de la generación de ACS tenga un origen solar térmico. Sin embargo, esta obligación afecta al agua caliente que puedan consumir los trabajadores de las instalaciones agropecuarias, pero no afecta al agua caliente producida para el uso con los animales.

No obstante, si en alguna instalación agropecuaria se realiza el diseño y montaje de una instalación de energía solar para agua caliente sanitaria con uso destinado diferente al humano, se recomienda que se sigan también las instrucciones del Código Técnico de la Edificación en su Documento Básico HE4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria).

Por otro lado, las bajas temperaturas durante la estación invernal y los períodos nocturnos determinan la necesidad, para determinadas cabañas, de un aporte térmico de calefacción que permita el mantenimiento de temperaturas interiores en los alojamientos

compatibles con el desarrollo animal. No obstante, esta aplicación de calefacción no es habitualmente resuelta mediante el aprovechamiento térmico de la energía solar, debido fundamentalmente a motivos económicos.

### Elementos de una instalación EST-BT

Una instalación EST-BT está compuesta, en general, por los siguientes elementos (Figura 4.3 y Figura 4.4):

- 1 Sistema de captación constituido por los captadores solares, encargados de realizar la conversión de la radiación solar en energía térmica, empleada en calentar el fluido caloportador que circula por ellos.
- 2 Sistema acumulador, constituido por uno o varios depósitos aislados que permiten suplir el desacoplamiento entre generación y consumo de agua caliente.
- 3 Sistema intercambiador, donde se transfiere la energía térmica producida desde el circuito primario de captadores al secundario de consumo. Puede estar incluido o ser independiente del depósito acumulador.
- 4 Sistema de regulación, control y medida, encargado de coordinar los flujos térmicos de los circuitos, con objeto de maximizar la eficiencia y la durabilidad de la instalación, y de medir los parámetros de operación de la instalación.
- 5 Sistema auxiliar de calentamiento, para complementar, en caso necesario, la contribución solar a la generación térmica, garantizando la continuidad del suministro durante los momentos de baja irradiancia solar o alta demanda.
- 6 Sistema de consumo, constituido por todos los receptores de la energía térmica producida, incluyendo los elementos de calderería (válvulas, tuberías, purgadores, etc.) y eléctricos (bombas, termostato diferencial, etc.) necesarios para la correcta operación de la instalación.

Figura 4.3. Esquema de una instalación EST-BT con circulación forzada

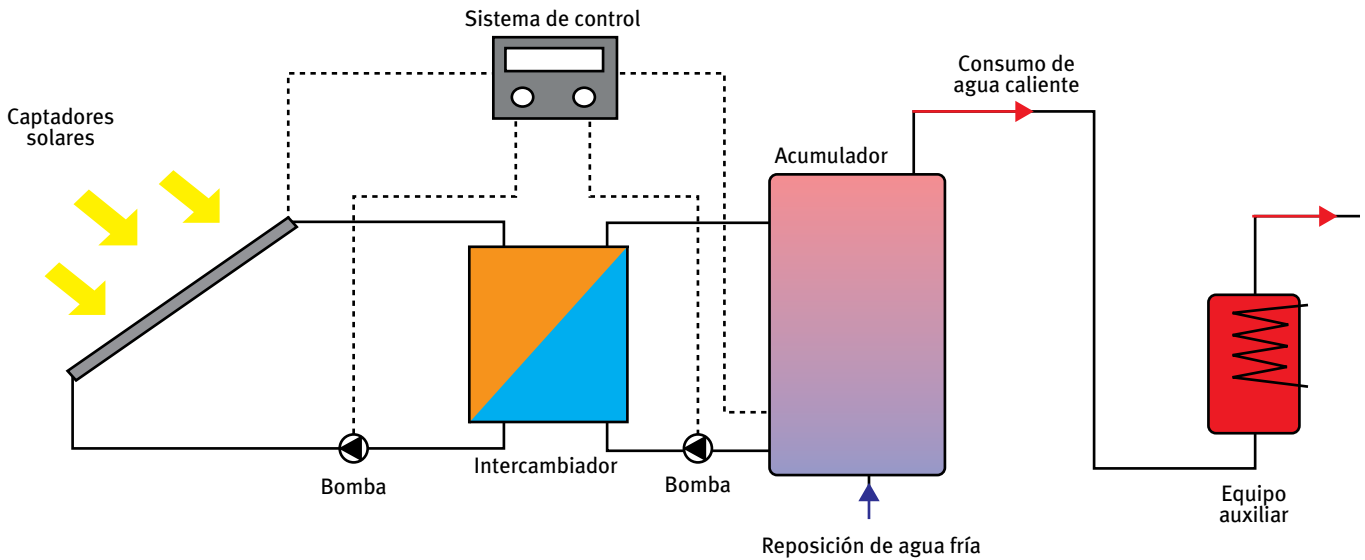


Figura 4.4. Instalación piloto para el ensayo de EST-BT: 1, captador solar plano; 2, depósito interacumulador; 3, bomba de circulación; 4, depósito de expansión; 5, sistema de control; 6, contador de energía; 7, sonda de temperatura; 8, válvula de seguridad; 9, purgador automático

Existen diversas posibilidades de configuración de las instalaciones EST-BT, pero las clasificaciones principales de las mismas se basan en:

- Tipo de intercambio: sistema directo (sin intercambiador de calor entre los circuitos primario y secundario) y sistema indirecto (con intercambiador de calor entre los circuitos primario y secundario).
- Tipo de circulación: sistema termosifónico o con circulación natural (el fluido caloportador se mueve por circulación natural, esto es, debido a la diferencia de densidad del agua por su diferencia de temperatura) y sistema con circulación forzada (el fluido caloportador se mueve por la actuación de bombas).

#### Captador solar

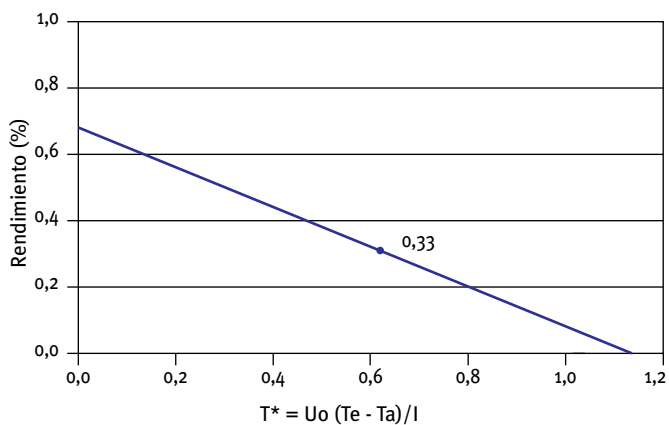
Encargado de realizar la conversión energética propia de las instalaciones EST-BT, su principio de funcionamiento se basa en el efecto invernadero producido en su interior. La eficiencia de la conversión térmica producida en el captador se refleja en su “curva característica” (Figura 4.5), en la cual se relaciona el rendimiento de conversión ( $\eta$ , relación entre el calor útil transferido al fluido y la irradiancia solar recibida sobre el captador), con las tres variables que más influencia tienen en su comportamiento, según la siguiente expresión:

$$\eta = h_o - T^* = h_o - U_L \frac{T_e - T_a}{I}$$

siendo:

- $h_o$  Factor de eficiencia óptica, adimensional
- $T^*$  Temperatura adimensional, adimensional
- $U_L$  Factor global de pérdidas,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
- $T_e$  Temperatura del fluido a la entrada del captador,  $^\circ C$
- $T_a$  Temperatura ambiente,  $^\circ C$
- $I$  Irradiancia solar incidente en el plano del captador,  $W/m^2$

**Figura 4.5. Curva característica de un captador solar plano**



Nota: Aunque actualmente, con los nuevos ensayos la fórmula del rendimiento es en función de tres parámetros representándose como una curva, se ha mantenido la recta por ser más didáctico en el desarrollo del capítulo.

En las aplicaciones a baja temperatura se pueden encontrar diferentes tipos de captadores aunque existen dos fundamentales: captadores solares planos y captadores solares con tubos de vacío. Naturalmente, la curva característica del captador varía en función de sus propiedades, siendo los factores que más incluyen en la mejora del rendimiento (disminución de las pérdidas) las características de la cubierta transparente y que se practique o no el vacío en el interior del captador (Tabla 4.1). Por otro lado, la eficiencia de la instalación dependerá de que los captadores se encuentren correctamente orientados e inclinados respecto a la horizontal. Por supuesto, en dicha eficiencia tendrá especial importancia la sombra que puedan producir sobre los captadores diferentes obstáculos presentes en las proximidades de la instalación.

**Tabla 4.1. Parámetros de la curva característica de un captador solar en función de su tipología ( $h_o$ , factor de eficiencia óptica;  $U_L$ , factor global de pérdidas)**

Captador	T trabajo ( $^\circ C$ )	$h_o$	$U_L$
Sin cubierta	10-40	0,9	15-25
Cubierta simple	10-60	0,8	7
Cubierta doble	10-80	0,65	5
Tubos de vacío	10-130	0,7	2

Los captadores solares planos están formados (Figura 4.6) por una parrilla de tubos intercambiadores soldados a una chapa absorbadora troquelada, cuyo conjunto se denomina superficie absorbadora. Esta superficie está cubierta de un recubrimiento selectivo que favorece la absorción de la radiación solar para aumentar la ganancia térmica por parte del fluido. Estos tubos y chapa absorbadora suelen ser de cobre o acero inoxidable, existiendo también captadores comerciales de materiales plásticos de menor eficiencia. Para disminuir las pérdidas térmicas incorporan un aislamiento térmico en la parte posterior y lateral, típicamente lana de roca, y todo el conjunto en el interior de una carcasa de aluminio anodizado. En la parte frontal llevan un cubierta transparente (normalmente vidrio con bajo contenido en óxidos de hierro, aunque también los hay con cubierta plástica de polimetacrilato), que permite la entrada de radiación solar y limita la salida de la radiación infrarroja emitida por el absorbador, favoreciendo así el efecto invernadero y aumentando la temperatura en el interior del captador. La superficie de estos captadores es del orden de  $2 m^2$ .

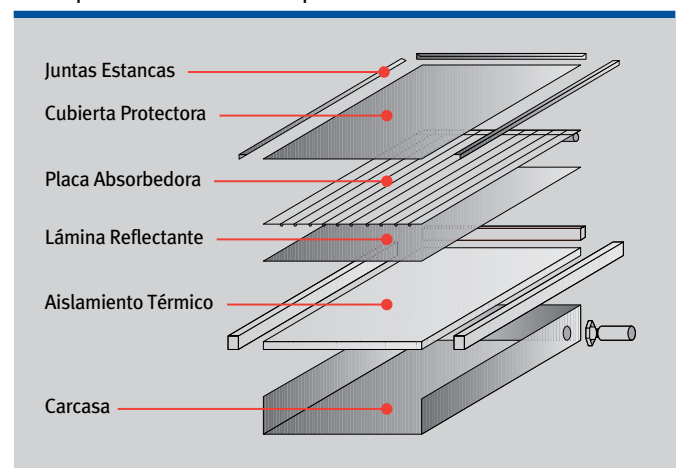


Figura 4.6. Componentes de un captador solar plano

Por su parte, los captadores solares con tubos de vacío están formados por una serie de tubos cilíndricos de vidrio en los cuales se practica el vacío, consiguiendo así disminuir drásticamente las pérdidas de calor, aumentando su rendimiento y temperaturas de trabajo, pero también su precio. Existen básicamente dos modalidades de esta tecnología (Figura 4.7): tubos de flujo directo y tubos de calor o heat-pipes. Los tubos de vacío de flujo directo transfieren directamente la energía proveniente del sol al fluido del circuito primario, el cual circula por el interior de una tubería en forma de U o de tipo concéntrico. Esta tubería tiene soldada una aleta de cobre que es equivalente a la chapa absorbidora del captador solar plano y va recubierta igualmente por una sustancia selectiva. Los tubos de calor utilizan un fluido diferente (normalmente alcoholes) en el interior de las tuberías. Este fluido evapora por absorción de la radiación solar, moviéndose hacia la parte superior del captador donde hay colocado un condensador que transmite su energía al fluido del circuito primario, haciendo que vuelva al estado líquido y descendiendo nuevamente por la tubería.



Figura 4.7. Modalidades de captadores solares con tubos de vacío: A, captador de fluido directo (Fuente: TERMIC SOL - [www.termic sol.com](http://www.termic sol.com)); B, captador de tubos de calor

### Acumulador solar

Posibilita la acumulación del agua caliente producida por la instalación, supliendo el desfase entre su generación y consumo. El material más frecuentemente empleado es acero inoxidable, con aislamiento térmico

de poliuretano y protección mecánica exterior de chapa pintada al horno o lámina plástica. Su disposición será preferentemente vertical para propiciar la estratificación del agua en su interior (con este fin, en ocasiones contienen en su interior placas estratificadoras), efecto que determina en gran medida el rendimiento del sistema solar (el agua más fría se sitúa en la parte inferior del acumulador y será la que se envíe al campo de captadores) y permite satisfacer adecuadamente las necesidades energéticas (el agua más caliente se sitúa en la parte superior y será la que se envíe a consumo).

### Intercambiador de calor

En las instalaciones EST-BT es necesaria la presencia de un intercambiador de calor entre el circuito primario de captadores y el secundario de consumo, debido a la utilización de anticongelante como método de prevención de la congelación del agua en el circuito de captadores. Además, el intercambiador permitirá que dicho circuito primario sea cerrado, evitando problemas por la presencia de aire en el circuito y el empleo de aguas “duras” (alto contenido en sales de calcio). El rendimiento de un intercambiador (EI) de calor se define como la relación entre la cantidad real y la cantidad máxima de calor que se puede transmitir entre los fluidos de sus circuitos primario y secundario. Considerando constantes los caudales de los fluidos en los circuitos primario y secundario del intercambiador, el EI va a depender sólo de su configuración geométrica. Hay que tener en cuenta que el EI va a afectar al rendimiento de los captadores, ya que cuanto menor sea su valor, mayor será la temperatura media del fluido en el circuito de captadores con su consecuente pérdida de rendimiento.

El intercambiador puede estar integrado o no en el acumulador solar. Si se integra en el depósito acumulador, el conjunto se llama interacumulador. Si el intercambiador es exterior, los más eficaces son los de placas con circulación de fluidos contracorriente.

### Dimensionamiento de una instalación EST-BT

Para realizar el dimensionamiento de una instalación EST-BT se ha de partir del conocimiento de una serie de datos, los cuales básicamente se refieren a dos aspectos:



1 Ubicación geográfica de la instalación, lo que nos permitirá determinar la irradiancia solar media diaria sobre el plano de los captadores ( $I$ ,  $W/m^2$ ), la latitud, orientación, la temperatura media diaria ambiental y la temperatura del agua de red, entre otras características. Los valores de  $I$  se obtienen a partir de datos publicados de irradiancia solar sobre superficie horizontal ( $H$ ,  $W/m^2$ ), corregidos por un coeficiente  $K$  (adimensional) en función de la latitud e inclinación de los captadores:

$$I = H \cdot K \cdot F_c$$

Se considera como orientación óptima la sur, mientras que la inclinación óptima es variable dependiendo del uso, de forma que si es un uso anual constante se considera como latitud óptima la propia latitud del lugar. Por su parte, si es uso invernal, la inclinación óptima será la latitud del lugar más  $10^\circ$  y si es uso estival, la inclinación óptima será la latitud del lugar menos  $10^\circ$ .

Cuando la orientación no sea la óptima o se tengan periodos con sombras sobre el campo de captación, será necesario corregir  $I$  por estas circunstancias con un coeficiente corrector ( $F_c$ ).

2 Demanda energética de la explotación, la cual condicionará la aportación energética de la instalación EST-BT, determinada por las expresiones:

$$Q_{ACS} = C_e \cdot C_{ACS} \cdot n \cdot \Delta T_{ACS}$$

$$Q_{CAL} = C_e \cdot C_{CAL} \cdot h \cdot n \cdot \Delta T_{CAL}$$

siendo:

$Q_{ACS}$	Energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, kJ/mes
$C_e$	Calor específico del agua, $kJ/(l \cdot ^\circ C)$
$C_{ACS}$	Consumo diario de ACS, l/día
$n$	Número de días del mes estudiado, día/mes
$\Delta T_{ACS}$	Salto térmico del agua entre la temperatura de preparación del ACS y la temperatura media del agua de red, $^\circ C$
$Q_{CAL}$	Energía necesaria para cubrir la demanda de calefacción, kJ/mes
$C_{ACS}$	Caudal de agua en el circuito de calefacción, l/h

$h$	Número de horas diarias del calendario de calefacción, h/día
$\Delta T_{CAL}$	Salto térmico del agua entre ida y retorno del circuito de calefacción, $^\circ C$

Con esta información de partida se puede estudiar el comportamiento energético de una instalación EST-BT mediante la aplicación de métodos de cálculo, como por ejemplo el método F-Chart. Este método fue desarrollado en la década de los años 70 por los profesores Klein, Beckman y Duffie, y permite calcular la fracción solar ( $f$ ) de una instalación, es decir, la contribución del sistema EST-BT a la aportación de calor necesario para compensar la demanda térmica de la explotación. Es lo suficientemente preciso para largas estimaciones, y aplicable para cualquier tipo de destino del agua caliente y para cualquier edificación.

Según el método F-Chart, la fracción solar de un mes determinado ( $f$ , adimensional) se determina según la siguiente expresión:

$$f = 1,029 \cdot D_1 - 0,065 \cdot D_2 - 0,245 \cdot D_1^2 + 0,0018 \cdot D_2^2 + 0,0215 \cdot D_1^3$$

El parámetro  $D_1$  expresa la relación entre la energía absorbida por el captador y la demanda térmica total de la instalación. Por su parte, el parámetro  $D_2$  expresa la relación entre las pérdidas de energía en el captador y la demanda térmica total de la instalación. Las expresiones de estos parámetros tienen una cierta complejidad y pueden ser obtenidas en diversas fuentes bibliográficas, entre ellas la original de sus creadores (Duffie y Beckman, 2006).

Siguiendo el mismo procedimiento para todos los meses del año, se puede obtener el valor anual aplicable de la fracción solar (relación entre la suma de las contribuciones solares mensuales y la suma de las demandas térmicas mensuales). También es relevante obtener el rendimiento medio anual de la instalación EST-BT, como la relación entre la suma de las contribuciones solares mensuales y la suma de la irradiancias solares en la superficie de captación durante todos los meses del año.

Por su parte, la determinación del volumen del acumulador solar se hará de forma tal que se cumpla la relación:



$$50 < \frac{V_{acu}}{S_{cap}} < 180$$

siendo  $V_{acu}$  (l) el volumen del acumulador solar, y  $S_{cap}$  ( $m^2$ ) la superficie de captación. Valores recomendados de la relación anterior se encuentran entre 75 y 100, aunque lógicamente dependerá del desfase entre los períodos de captación/almacenamiento y de consumo.

Una instalación EST-BT se compone además de otros subsistemas y equipos que hay que dimensionar adecuadamente, como el subsistema de intercambiadores de calor, la red de tuberías o las bombas. Todos los subsistemas de una instalación EST-BT deberán cumplir la normativa vigente para instalaciones de energía solar térmica que es el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios).

#### 4.2.2 Energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica (ESF), esto es, el aprovechamiento eléctrico de la radiación solar mediante el efecto fotovoltaico, es una fuente renovable de energía en fase comercial que puede producir electricidad allí donde se consume, evitando la saturación de las redes de distribución eléctricas y disminuyendo las pérdidas en el transporte de la electricidad. De ahí, una de las principales razones que justifican su empleo.

Aunque la ESF sólo representa el 0,001% del suministro de energía eléctrica que satisface las necesidades de consumo en todo el mundo, se prevé un rápido y significativo crecimiento en su implantación, basado en el actual desarrollo de la tecnología y en el compromiso energético-medioambiental de los países más desarrollados. El sector fotovoltaico se sustenta en una tecnología de vanguardia y una industria puntera que en los últimos años está teniendo un crecimiento anual medio superior al 30%.

Sin embargo, el principal hándicap de la ESF es todavía el coste de las instalaciones. No obstante, a medio plazo se estima que habrá una reducción importante de tales costes debido a los siguientes factores:

- Mejora de la eficiencia de las tecnologías actuales.
- Optimización de los procesos de fabricación.
- Aplicación de economías de escala.
- Desarrollo de nuevas tecnologías.

Aunque tradicionalmente el uso de la ESF ha sido en aplicaciones aisladas de la red eléctrica, desde hace unos años la incorporación de esta tecnología en explotaciones conectadas a red está facilitando su difusión y desarrollo.

#### La ESF en el sector agropecuario

El sector agropecuario, caracterizado en muchos casos por su aislamiento de las redes de distribución pública de energía eléctrica, es un sector donde la ESF presta buenos servicios, principalmente para el bombeo (en superficie y de profundidad) y el tratamiento de aguas.

El bombeo de agua por ESF (lo que se viene a llamar bombeo solar) se ha extendido, sobre todo en los países subdesarrollados, pero también se emplea en los países con mayor nivel tecnológico, por ejemplo, para extraer agua del subsuelo en zonas áridas. Los generadores solares alcanzan en estos casos capacidades de 2 a 5  $kW_p$ , sin baterías, pero con un inversor o un arrancador electrónico (“booster”) que alimenta directamente el motor de la bomba.

En cuanto a los sistemas de potabilización del agua por cloración o esterilización mediante radiaciones UV, se recurre con frecuencia a la ESF cuando el caudal tratado es relativamente pequeño, lo cual ocurre en entornos rurales.

La ESF también se aplica muy frecuentemente para alimentar estaciones meteorológicas, muy empleadas para hacer un seguimiento de la evolución de las condiciones climáticas que afectan a la producción agraria y animal. Se debe citar también la cerca eléctrica, una de las aplicaciones más clásicas del ESF en las explotaciones ganaderas. La cerca eléctrica es una instalación aislada que se alimenta desde una batería, que se mantiene cargada mediante un panel solar que no suele pasar de 10  $W_p$ . Estos dispositivos se suelen

guardar durante el invierno cuando los animales no salen a pastar. Existen también electroválvulas para los sistemas de riego telemáticos alimentadas por pequeñas fopilas, sistemas automáticos para abreveraderos, espantapájaros, vibradores infrasónicos colocados en tierra para alejar a los ratones y los topos, entre otras frecuentes aplicaciones.

## Elementos de una instalación ESF

Una instalación ESF está compuesta, en general, por los siguientes elementos:

- 1 Sistema generador, que realiza la conversión de la energía solar a energía eléctrica. Se encarga, por tanto, de aportar energía a todo el sistema.
- 2 Sistema acumulador de energía, constituido por baterías que almacenan la energía producida por el sistema generador cuando hay disponibilidad de la energía del sol, y la entrega a las cargas cuando éstas funcionan, de manera que se compatibilicen los diferentes ritmos de producción y demanda.
- 3 Sistema regulador de carga, encargado de que las baterías no se vean sometidas a descargas muy profundas o a estados de carga muy altos. De esta manera se alargará la vida de las baterías.
- 4 Sistema de condicionamiento de potencia, que puede incluir un convertidor cc-cc (para conseguir diferentes tensiones continuas de salida) y/o un convertidor cc-ca (para conseguir tensiones alternas), en función de la naturaleza de las cargas.
- 5 Sistema de consumo, constituido por todos aquellos equipos que deban ser alimentados por el sistema ESF. En una misma instalación pueden coexistir cargas en continua (cc) y en alterna (ca). En instalaciones conectadas a red, la propia red eléctrica se puede considerar como una carga del sistema.
- 6 Sistema de control, medida y registro, utilizado para conocer en todo momento las características de funcionamiento del sistema ESF.

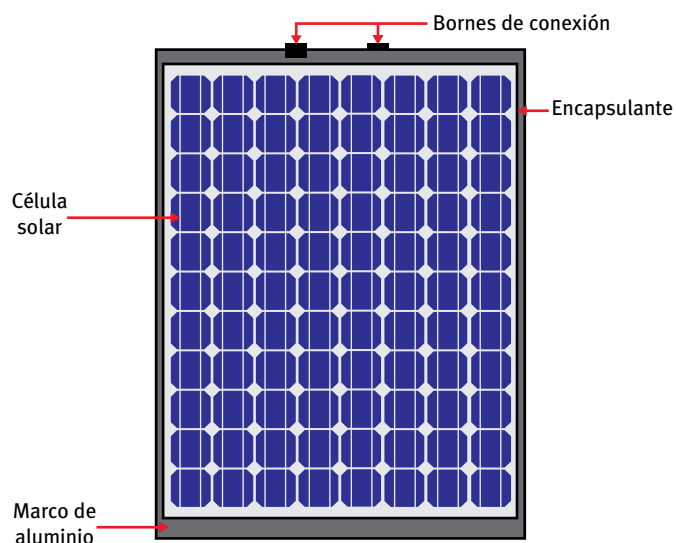
Indicar también la existencia de instalaciones ESF híbridas, constituidas por un generador auxiliar, ali-

mentado normalmente con gasóleo, y que entra en operación cuando la demanda de energía supera las posibilidades de los sistemas de generación y almacenamiento fotovoltaicos.

## El módulo solar fotovoltaico

Un módulo solar fotovoltaico (Figura 4.8) está constituido por varias células solares iguales conectadas eléctricamente entre sí, en serie y/o en paralelo, de forma que la tensión y la corriente suministradas por el módulo se incrementan hasta ajustarse al valor deseado. La mayor parte de los módulos solares se construyen asociando primero células solares en serie hasta conseguir el nivel de tensión deseado, y luego conectando en paralelo varias asociaciones serie de células solares hasta alcanzar el nivel de corriente requerido. Además, el módulo cuenta con otros elementos que hacen posible la adecuada protección del conjunto frente a los agentes externos, asegurando una rigidez suficiente, posibilitando la sujeción a las estructuras que lo soportan y permitiendo la conexión eléctrica.

Figura 4.8. Módulo solar fotovoltaico

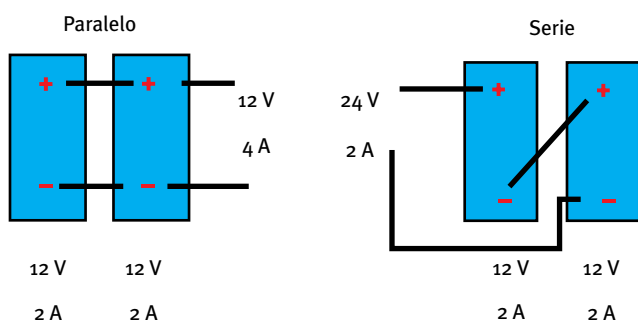


La célula solar es el componente principal de las instalaciones ESF. Existen diferentes tipos de células, pero del total de módulos fotovoltaicos instalados a nivel mundial, el 90-95% están contruidos con células de silicio monocristalino y de silicio policristalino, siendo una muy pequeña parte (<2%) de células de telurio de cadmio (CdTe) y células de diselenio de indio-cobre (CIS), y el resto (3-7%) son módulos de cé-

lulas de silicio amorfo. Entre el silicio monocristalino y el policristalino no hay una gran diferencia (el silicio monocristalino es ligeramente más eficiente pero también más caro). Por su parte, el grupo de módulos de lámina delgada (CdTe, CIS y silicio amorfo) presenta la particularidad de que sus prestaciones son inferiores, en general, debido a su peor eficiencia, y disminuyen más rápidamente con el tiempo, sobre todo durante el primer año. Indicar también que la investigación en celulares solares se centra en estos momentos en dos líneas: producción de células más baratas, aunque su eficiencia no sea muy elevada, y generación de células híbridas tipo HIT o células orgánico/poliméricas.

De la misma manera que se asocian células solares en serie y/o paralelo para formar el módulo, el generador solar fotovoltaico se obtiene asociando módulos en serie y/o en paralelo (Figura 4.9).

**Figura 4.9. Ejemplo de agrupación de módulos solares fotovoltaicos en paralelo y en serie**



Hay dos factores ambientales que tienen una gran importancia en el comportamiento de las células, módulos y generadores solares, y son la temperatura y la irradiancia. La variación de estas magnitudes modifica los parámetros característicos de operación del módulo, como son la corriente en cortocircuito, la tensión en circuito abierto y la potencia máxima. El aumento de irradiancia solar contribuye al aumento de la corriente en cortocircuito y a una disminución de la tensión en circuito abierto. La potencia máxima aumenta al aumentar la irradiancia. Por otro lado, el rendimiento de un sistema generador fotovoltaico va a depender de la orientación (la sur es la óptima), de la inclinación de los módulos (una inclinación igual a la latitud del lugar es la más adecuada), y de que existan o no obstáculos que proyecten sombras sobre los mismos.

Un comportamiento diferente aparece con las variaciones de temperatura. La corriente en cortocircuito es independiente de la variación de ésta, mientras que la tensión en circuito abierto y la potencia máxima disminuyen al aumentar este parámetro.

### El regulador

Los módulos fotovoltaicos tienen una tensión de salida superior a la tensión nominal de las baterías usadas en la instalación debido a dos causas:

- La tensión del módulo debe ser más elevada, para paliar la disminución que se puede producir debido al aumento de la temperatura.
- La tensión del módulo fotovoltaico debe ser siempre mayor que la de la batería, para poder cargarla adecuadamente.

Para un funcionamiento satisfactorio de la instalación, en la unión de los módulos solares con la batería, se debe instalar un sistema de regulación de carga (Figura 4.10). El regulador tiene como misión fundamental impedir que la batería continúe recibiendo energía del módulo solar una vez que ha alcanzado su carga máxima. El regulador impide la entrada o salida de corriente de la batería cuando por una carga o una descarga excesivas pueda verse dañada. Si la batería se sobrecarga, aumenta de temperatura y se puede producir una gasificación masiva y su destrucción.



Figura 4.10. Regulador de carga (Fuente: RF SOLAR - [www.rfsolar.es](http://www.rfsolar.es))

## El convertidor

Los convertidores son equipos que transforman la tensión eléctrica continua que proporcionan los módulos solares en tensión continua de otra magnitud o en tensión alterna.

Así, la función de un convertidor cc-cc es transformar una potencia de entrada  $P_i$  ( $P_i = V_i \cdot I_i$ , siendo  $V_i$  e  $I_i$ , respectivamente, la tensión y la intensidad con los que se alimenta el convertidor), en una potencia de salida  $P_o$  ( $P_o = V_o \cdot I_o$ , siendo  $V_o$  e  $I_o$ , respectivamente, la tensión y la intensidad entregados por el convertidor), con el mayor rendimiento  $\eta$  posible ( $\eta = P_o/P_i$ ), haciendo que  $V_i$  e  $I_i$  se correspondan con el punto de máxima potencia del generador.

El inversor (convertidor cc-ca) es un equipo que transforma la tensión continua que proporcionan los módulos en tensión alterna (normalmente 230 V<sub>ca</sub>) para alimentar los receptores de este tipo (Figura 4.11).



Figura 4.11. Convertidor cc-ca o inversor  
(Fuente: SIEMENS - [www.siemens.es](http://www.siemens.es))

## La batería

En las instalaciones ESF lo más habitual es utilizar un conjunto de baterías (las más habituales son las de

plomo-ácido) asociadas en serie o paralelo para almacenar la energía eléctrica generada durante las horas de alta irradiancia solar, para su utilización posterior en los momentos de baja o nula radiación solar. Hay que destacar que la fiabilidad de la instalación ESF depende en gran medida de la del sistema de acumulación, siendo por ello un elemento al que hay que dar la gran importancia que le corresponde.

Una batería está formada por la asociación en serie de elementos llamados vasos o celdas, cada una de las cuales consta de dos electrodos de distinto material (materia activa) inmersos en una disolución electrolítica. Las baterías más utilizadas en aplicaciones fotovoltaicas son de 12 o 24 V<sub>cc</sub>. En las instalaciones ESF las particulares condiciones de trabajo a las que están sometidas imponen la existencia de un ciclo diario (día/noche) de operación de las baterías (carga/descarga). Por ello, las baterías deben presentar un buen comportamiento frente a dichos ciclos de carga/descarga, buena respuesta a descargas profundas ocasionales, tiempo de vida elevado (alrededor de 10 años), mantenimiento mínimo, escasa o nula autodescarga y alta fiabilidad.

## Diseño de una instalación ESF

En el diseño de una instalación ESF se deberán determinar los siguientes elementos:

- Tipo y número de módulos fotovoltaicos que hacen falta para captar la energía necesaria.
- Capacidad que ha de tener el sistema acumulador para poder disponer de energía en días de poco sol.
- Características del resto de los elementos que integran la instalación (regulador, convertidor, conductores y otros elementos eléctricos).

Realizar este cálculo de forma correcta es importante porque los elementos de la instalación deben guardar entre sí una dimensión equilibrada. Así, si se calcula en exceso el generador fotovoltaico con el propósito de producir más energía y el acumulador no tiene capacidad suficiente para almacenarla, se pierde la mayoría de ella. Un regulador de menor amperaje que

el indicado o un simple conductor de sección insuficiente, pueden ser causa de avería y paralización de la instalación.

### Radiación solar

La cantidad de radiación recibida del sol (radiación solar) y la demanda diaria de energía eléctrica son los factores que marcarán el dimensionamiento de la instalación ESF.

Lógicamente, el consumo de electricidad que hace el sistema receptor queda determinado por la potencia eléctrica consumida multiplicada por las horas de funcionamiento del sistema. Queda por tanto por analizar la energía recibida del sol en el lugar de la ubicación de la explotación, para calcular el número de módulos fotovoltaicos necesarios para que se equipare globalmente la energía producida a la consumida. Los valores de la irradiancia solar media diaria sobre el plano de los captadores ( $I$ ,  $W/m^2$ ), permiten determinar el valor correspondiente del número de horas de sol pico (HSP, número de horas en las que existe una irradiancia solar de  $1.000 W/m^2$ ), y que se refiere al nivel de irradiancia solar media diaria expresada en  $kWh/(m^2 \cdot día)$ .

### Consumos

Los consumos se calcularán dependiendo de si son en corriente continua o en corriente alterna, de forma independiente, y se aplicará al total de los consumos calculados un 15% como margen de seguridad de captación. El rendimiento del inversor en el cálculo de los consumos en corriente alterna se puede estimar en un 85%. Las expresiones a emplear son las siguientes:

$$C_{cc} = \frac{100 + MS}{100} T_1$$

$$C_{ca} = \frac{100 + MS}{\eta_i} T_2$$

$$C_T = C_{cc} + C_{ca}$$

siendo:

$C_{cc}$ , Consumo calculado de energía en cc, Wh/día

$C_{ca}$ , Consumo calculado de energía en ca, Wh/día

$C_T$ , Consumo calculado total de energía, Wh/día

$T_1$ , Consumo medido de energía en cc, Wh/día  
 $MS$ , Margen de seguridad de captación (normalmente del 15%)

$T_2$ , Consumo medido de energía en ca, Wh/día  
 $\eta_i$ , Rendimiento del inversor (normalmente del 85%)

Los valores de consumo calculado aparecen en unidades de Wh/día. Para poder realizar los correspondientes cálculos de dimensionamiento de la instalación conveniente utilizar como unidad el Ah/día. Para ello se determina el consumo calculado total de energía en Ah/día ( $E_T$ ) como el cociente entre el consumo calculado total de energía en Wh/día ( $C_T$ ) y la tensión nominal de la instalación fotovoltaica ( $V_n$ , V):

$$E_T = \frac{C_T}{V_n}$$

### Paneles

Una vez conocida la irradiancia solar del lugar, definido el ángulo de inclinación de los módulos respecto a la horizontal y sabiendo el modelo de módulo fotovoltaico que se desea instalar (se conoce por tanto la tensión pico,  $V_p$ , y la intensidad pico,  $I_p$ , del módulo en el punto de máxima potencia en condiciones estándares), se puede calcular el número de módulos fotovoltaicos necesarios. El número de módulos a conectar en paralelo ( $N_p$ ) se determinará dividiendo el consumo calculado total de energía en Ah/día ( $E_T$ ) entre la producción unitaria de energía en Ah/día de cada módulo ( $HSP \cdot I_p$ ):

$$N_p = \frac{E_T}{HSP \cdot I_p}$$

El número de módulos a conectar en serie ( $N_s$ ) se calculará dividiendo la tensión nominal de la instalación fotovoltaica ( $V_n$ ) entre la tensión pico del módulo ( $V_p$ ):

$$N_s = \frac{V_n}{V_p}$$

Con todo, el número total de módulos ( $N_t$ ) con los que deberá contar la instalación será:

$$N_t = N_p \cdot N_s$$



## Capacidad de acumulación

El objetivo será determinar la capacidad (Ah) que ha de tener el sistema acumulador de la instalación. Se puede interpretar que el número de baterías será proporcional a la seguridad que queramos dar a la instalación frente a los días nublados, es decir, al número de días de autonomía (D).

Para determinar la capacidad nominal (C, Ah) se debe conocer la profundidad máxima de descarga (PD, %) de la batería a emplear, según la siguiente expresión:

$$C = \frac{100 \cdot E_T \cdot D}{PD}$$

## Reguladores

Por cuestiones de seguridad, se debe elegir un regulador que pueda disipar una intensidad máxima superior en un 20% a la intensidad máxima que proporciona el campo de módulos fotovoltaicos. Normalmente el regulador suele estar en serie con los módulos fotovoltaicos, lo que supone que la intensidad del regulador ( $I_r$ , A) la proporcionan los módulos solares fotovoltaicos:

$$I_r = 1,2 \cdot N_p \cdot I_p$$

## Convertidor

La utilización de receptores de corriente alterna, y por ello la necesidad de incorporación de un convertidor cc-ca (inversor) en la instalación, debe realizarse solo en aquellos casos donde no pueden ser empleados receptores de corriente continua o bien porque circunstancias especiales lo aconsejan. La primera regla es conocer la potencia absorbida por los equipos de corriente alterna, así como sus puntas de arranque. Por ello, determinando la potencia eléctrica demandada por los receptores de corriente alterna ( $P_{ca}$ , W) y el rendimiento del inversor ( $\eta_i$ , %), se puede determinar su potencia nominal ( $P_i$ , W) como:

$$P_i = \frac{100 \cdot P_{ca}}{\eta_i}$$

## 4.3 Energía de la biomasa sólida

Las posibilidades de aprovechamiento de la biomasa sólida para calefacción de alojamientos ganaderos son similares a las de otras instalaciones agrarias, por lo que se remite al lector interesado a la revisión del capítulo 3.2 “Uso de calderas de biomasa en invernaderos” del manual “Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos”, editado por el IDAE y correspondiente al número 7 de esta serie editorial sobre Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura, con objeto de disponer de una información relevante sobre tal aprovechamiento: tipos de biomasa comercializadas como combustible, tipos de calderas de biomasa para calefacción y planificación de un proyecto para el uso de una caldera de biomasa para calefacción.

## 4.4 Energía geotérmica de baja entalpía

La energía geotérmica (EG) tiene su origen en la generación continua de calor que tiene lugar en el centro de la Tierra producida en los procesos de fisión que se llevan a cabo en el núcleo, debido a la existencia de elementos radiactivos como el uranio y el torio. Así, la EG se basa en la enorme diferencia de temperaturas que existe en el interior de la Tierra, y que van desde los 15 °C de la superficie a los 4.000 °C del núcleo. Este gradiente térmico origina una transferencia continua de calor por conducción desde el centro de la Tierra a la superficie, cuyo flujo es, sin embargo, bajo, debido a la baja conductividad de sus materiales, lo que hace que sea muy difícil su aprovechamiento.

Pero la corteza de la Tierra no es homogénea. Está fragmentada en placas tectónicas, las cuales se mueven a una velocidad de varios centímetros por año. Este movimiento produce roces, choques y deformaciones en los bordes de las placas, impactos que ocasionan grietas y pliegues (montañas), y que son el origen de los terremotos y las erupciones volcánicas, dando lugar a flujos de calor hacia la superficie anormalmente elevados. Así, si el gradiente térmico normal se encuentra entre 2 y 4 °C cada 100 m de profundidad, en esas zonas de choque se pueden registrar aumentos de más de 30 °C en la misma profundidad. Estas áreas térmicas son las que presentan



el mayor interés desde el punto de vista de su aprovechamiento energético. No obstante, incluso los yacimientos de muy baja temperatura (15 °C) pueden ser aprovechados, de manera que prácticamente todas las aguas subterráneas del mundo son potenciales yacimientos de energía. De hecho, el potencial geotérmico almacenado en los 10 km exteriores de la corteza terrestre supera en 2.000 veces a las reservas mundiales de carbón.

La EG se viene empleando desde hace siglos con fines térmicos, siendo ésta su aplicación mayoritaria y más extendida. También se puede utilizar para la producción de electricidad, aprovechamiento que es mucho más reciente. Las primeras aplicaciones de una cierta magnitud para el uso directo de la EG con fines térmicos datan de mediados de la década de los cincuenta del pasado siglo en Islandia, aunque su expansión mundial se produce tras la crisis del petróleo. Así, entre 1975 y 2000, el crecimiento medio de los usos directos geotérmicos se cifra en un 6% al año, tasa altísima si la comparamos con las registradas por otras fuentes de energía. A lo largo de los últimos años, sin embargo, este crecimiento se ha ralentizado ligeramente. No obstante, el uso de bombas de calor para aprovechar las fuentes geotérmicas de baja entalpía y los avances en el conocimiento de los sistemas de roca seca caliente están generando, de nuevo, un relanzamiento de la EG.

### Sistemas de obtención y aprovechamiento de la EG

El Instituto Geológico y Minero de España distingue cuatro tipos de yacimientos geotérmicos:

- Yacimientos de alta temperatura. La energía se produce en las zonas activas de la corteza terrestre. Una roca permeable almacena el fluido a alta temperatura (entre 100 y 400 °C) muy cerca de un foco de calor activo. Esa roca está rodeada por una capa de rocas impermeables, que no suelen ser perfectas, es decir, que tienen grietas o escapes. La explotación de un campo de estas características se hace por medio de perforaciones según técnicas casi idénticas a las de la extracción del petróleo.
- Yacimientos de media temperatura. Se hallan entre los 1.500 y los 2.500 m de profundidad y su tem-

peratura oscila entre los 75 y los 150 °C. La EG de media temperatura es aprovechable en zonas más amplias que las anteriores, por ejemplo, en todas las cuencas sedimentarias. La explotación con fines eléctricos de este tipo de yacimientos se realiza mediante sistemas de ciclo binario.

- Yacimientos de baja temperatura. A partir de 15 °C y por debajo de los 75 °C. Esta energía se utiliza para aprovechamiento directo como calefacción doméstica o de distrito, aplicaciones urbanas, agrícolas, ganaderas o procesos industriales.
- Yacimientos de roca seca caliente. No hay fluido, sólo roca caliente entre 150 y 300 °C. A profundidades entre 4,8 y 8 km es posible hallar roca seca caliente en casi cualquier lugar del mundo (Figura 4.12). Aunque estos sistemas son los más numerosos y tienen un alto potencial térmico, la profundidad a la que se encuentran, y el carácter impermeable de la roca dificultan su aprovechamiento. Se encuentra aún en vías de desarrollo.

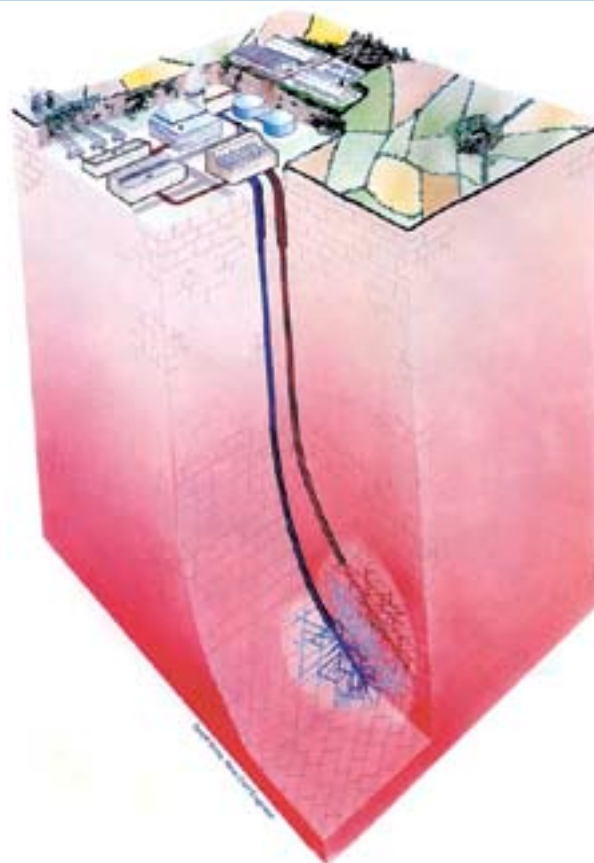
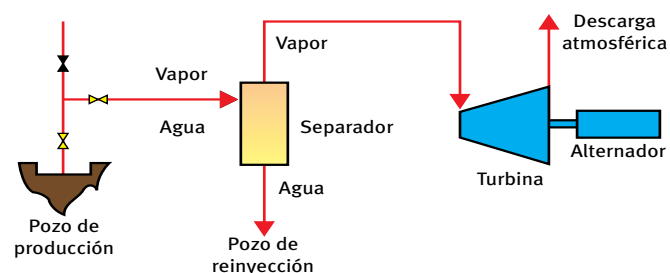


Figura 4.12. Esquema de una instalación de aprovechamiento industrial de la energía geotérmica mediante el sistema de roca seca caliente (Fuente: Asociación Geotérmica Internacional - [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org))

Respecto al aprovechamiento de la EG para la generación eléctrica, existen actualmente tres procedimientos en operación comercial que son:

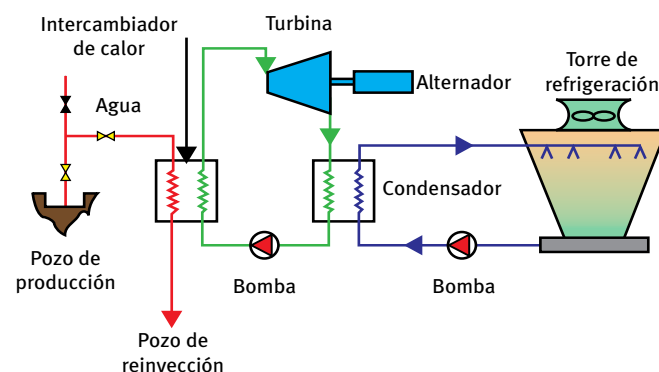
- Plantas de vapor seco. Se toma el vapor de las fracturas en el suelo. El vapor saturado o ligeramente sobrecalentado que se obtiene en la superficie se envía directamente a una turbina para mover un generador eléctrico.
- Plantas de agua a alta temperatura. Cuando el fluido hidrotermal es fundamentalmente agua a alta temperatura, los pozos generalmente producen una mezcla de agua y vapor en la superficie. Esto se debe a que el fluido del yacimiento sufre un proceso de ebullición en el interior del pozo, causado por la caída de presión a lo largo de la tubería. Cuando la mezcla llega a la superficie, el vapor y el líquido se separan por medio de separadores. El primero es utilizado para alimentar la turbina, mientras que el líquido se inyecta nuevamente al yacimiento (Figura 4.13).
- Plantas con sistema de ciclo binario. Hacen posible el aprovechamiento industrial geotérmico en yacimientos cuyo recurso se halla a menor temperatura. En estos sistemas, el fluido geotérmico transfiere su calor, mediante un intercambiador, a un fluido secundario (el denominado fluido de trabajo). Este segundo fluido se convierte en vapor, activa la turbina y genera electricidad. El motivo de emplear este segundo fluido es que su temperatura de evaporación es más baja. Así pues, se necesita menos calor para vaporizar el fluido. El vapor, luego de haber movido las turbinas, se condensa y vuelve a ser reutilizado. Se prevé que este sistema es el que tendrá mayor implantación futura (Figura 4.14).

**Figura 4.13. Esquema operacional de una planta geotérmica de agua a alta temperatura para la producción de electricidad** (Fuente: Asociación Geotérmica Internacional - www.geothermal-energy.org)



**Figura 4.14. Esquema operacional de una planta geotérmica de ciclo binario para la producción de electricidad**

(Fuente: Asociación Geotérmica Internacional - www.geothermal-energy.org)



## La EG en el sector agropecuario

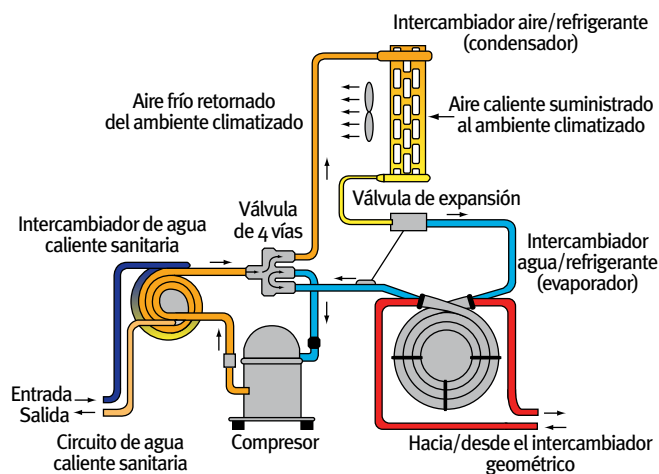
El uso directo del calor es la forma más extendida de aprovechamiento de la EG. Las aplicaciones domésticas (calefacción individual y de distrito), urbanas (secado de pavimentos), en ganadería, agricultura y acuicultura, y algunos usos industriales (como secado, destilación o esterilización), constituyen las formas más conocidas de utilización.

En el sector agropecuario, la EG se aplica fundamentalmente para la calefacción ambiental (alojamientos ganaderos o invernaderos) o localizada (cama de animales o sustratos de cultivo). En agricultura también se emplea en el riego con agua tibia, tanto de forma superficial como enterrada. Aunque la aplicación agropecuaria más común de la EG es la climatización de invernaderos, también existen instalaciones ganaderas alimentadas geotérmicamente. Incluso existen explotaciones en las que se plantea un aprovechamiento combinado en cascada para las dos aplicaciones, ya que las necesidades térmicas de un alojamiento ganadero son aproximadamente el 50% de las de un invernadero, para la misma superficie. El agua caliente de origen geotérmico, además de ser utilizada para calefacción, es empleada en tareas de limpieza de los establos y para higienizar las instalaciones y a los propios animales. Además, los sistemas de EG pueden combinarse con sistemas de refrigeración por absorción, con objeto de producir frío y proporcionar una solución integral de climatización de locales.

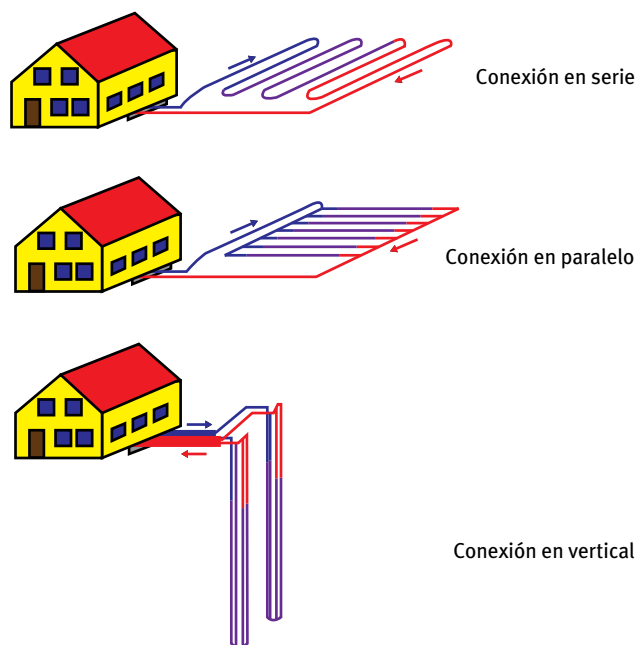
Sin embargo, en la actualidad el mayor número de aplicaciones de la EG se produce en la modalidad de baja entalpía (EG-BE), siendo además la tipología de instalación con mayor proyección. La EG-BE basa su principio en la capacidad que tiene la tierra para acumular el calor procedente del sol, manteniendo su temperatura prácticamente constante a lo largo del año a partir de una determinada profundidad. Así, a partir de 1 m de profundidad, la temperatura sufre pequeñas variaciones, manteniéndose en un valor próximo a la media anual de la temperatura ambiente en la localización, y a partir de 5 m de profundidad, la temperatura se mantiene más o menos constante en torno a los 15 °C, con independencia de la ubicación geográfica y de la época del año.

Una bomba de calor geotérmica (Figura 4.15), dispositivo en el que se basan las instalaciones EG-BE, es una máquina frigorífica que cede y absorbe calor del terreno a través de un conjunto enterrado de tuberías de polietileno, las cuales se pueden conectar de varias formas (Figura 4.16): en serie, en paralelo y en vertical. La instalación está formada por una gran masa térmica (suelo) que permite ceder/extraer calor, un conjunto de tuberías enterradas por las que circula agua/anticongelante y una bomba de calor geotérmica agua/agua.

**Figura 4.15. Bomba de calor geotérmica** (Fuente: Asociación Geotérmica Internacional - [www.geothermal-energy.org](http://www.geothermal-energy.org))



**Figura 4.16. Diferentes formas de conexión del intercambiador de calor geotérmico**



Por otro lado, si bien el coste de inversión de un sistema EG-BE es elevado, este puede compensarse teniendo en cuenta que los costes de explotación y mantenimiento son menores que los de los sistemas tradicionales, además de existir subvenciones para su instalación. Así, un sistema EG-BE tiene una serie de ventajas que pueden hacer muy atractiva su selección, entre las que destacan el ahorro energético (COP de 4 respecto a 2,5 de otros sistemas tradicionales) y el ahorro económico (menor gasto de energía eléctrica).



## 5 Aprovechamiento energético de los residuos ganaderos

---

La problemática asociada al consumo de los combustibles fósiles, comentada en el capítulo anterior, ha impulsado el intento de aprovechar los residuos, entre ellos los ganaderos, con fines energéticos. Un ejemplo es la producción de biogás a partir de residuos orgánicos, la cual surge como una oportunidad para resolver los problemas ambientales surgidos de la generación y acumulación de los mencionados residuos, y, al mismo tiempo, para producir energía. Gonçalves (2005) resalta que de entre los residuos orgánicos con potencial interés energético, los procedentes de las explotaciones pecuarias son los que suscitan la mayor atención y también las mayores preocupaciones, toda vez que son los que se producen en mayores cantidades en la Unión Europea y lo hacen en explotaciones que se concentran en regiones específicas, muchas de las cuales disponen de reducidas, o incluso inexistentes, áreas agrícolas.

Los residuos orgánicos tienen una elevada carga contaminante y pueden contribuir a la degradación de los recursos naturales, como el agua, los suelos y el aire. Los principales agentes de contaminación del agua son la materia orgánica fácilmente biodegradable, con su elevada demanda biológica y química de oxígeno, el nitrógeno, el fósforo, los microorganismos patógenos y, eventualmente, los metales pesados. La degradación de la calidad del aire ambiental en las explotaciones pecuarias se produce como consecuencia de los gases y vapores producidos por la descomposición de los residuos, así como debido a la presencia de polvo y de microorganismos patógenos. La contaminación del aire es debida principalmente al metano y al CO<sub>2</sub> (gases GEIs) producidos en las instalaciones de almacenamiento y de tratamiento biológico de los residuos.

Por ello, los residuos de las explotaciones ganaderas deben ser gestionados de forma que se aseguren unas buenas condiciones sanitarias de los animales, con el objetivo de minimizar la producción de malos olores y para reducir su potencial contaminante. En resumen, una gestión de los residuos

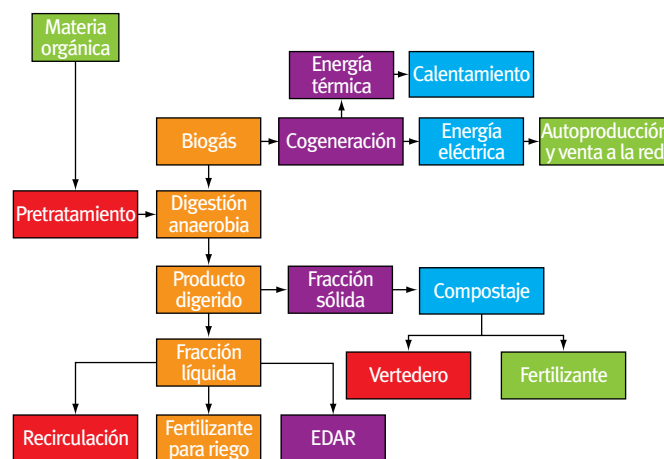
ganaderos que prevenga los riesgos para el medio ambiente y para la salud animal y de las personas.

La digestión anaerobia es un proceso de tratamiento biológico de efluentes orgánicos que se desarrolla en ausencia de oxígeno y que permite convertir la mayor parte de la carga contaminante del efluente en fuente de energía en forma de biogás. Este biogás está constituido por metano (60-75%), CO<sub>2</sub> y otros componentes, principalmente H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S y N<sub>2</sub>, en proporciones bastante inferiores. El metano contenido en el biogás le confiere potencial energético y posibilita su correspondiente utilización como combustible gaseoso en diversas aplicaciones (Pinto *et al.*, 2008).

En el contexto de la Unión Europea, el biogás representa el biocombustible de uso más generalizado en los últimos años, debido a la legislación actual que fomenta su producción y aprovechamiento en distintos sectores, desde la producción animal hasta la agroindustria. En 2005 se produjeron más de 205.800·10<sup>9</sup> kJ de energía a partir de biogás, con origen el 64% de vertedero, el 18,8% de la degradación de residuos urbanos e industriales y el 17,2% de la co-digestión de efluentes pecuarios, residuos agrícolas y cultivos energéticos (Tricase y Lombardi, 2008).

El biogás, debido a su composición, presenta un potencial energético que permite su utilización en diversas aplicaciones. Existe la posibilidad de producción de vapor para el calentamiento del digestor, siendo, sin embargo, la opción más interesante su aplicación para la producción de electricidad y aprovechamiento del calor residual en los procesos en que sea necesario (cogeneración). Un ejemplo de esta aplicación es la utilización del calor en la calefacción de las naves de lechones y de hembras gestantes de ganado porcino, siendo la electricidad producida exportada a la red de distribución con una tarifa de producción eléctrica mediante energía renovable (régimen especial). El esquema de la Figura 5.1 muestra varias posibilidades de valorización de los residuos orgánicos ganaderos utilizando la digestión anaerobia y produciendo biogás.

**Figura 5.1. Esquema general de la valorización de efluentes ganaderos mediante digestión anaerobia y producción de biogás**



La digestión anaerobia representa así una herramienta muy útil en la gestión ambiental de las explotaciones agropecuarias, al disminuir las necesidades de fuentes convencionales de energía y reducir la utilización de fertilizantes químicos en la enmienda de los cultivos. Cuando se encuadrada en un sistema de control de la contaminación a través de la gestión integrada de residuos, la tecnología de digestión anaerobia presenta algunas ventajas, entre las cuales se destacan (ADENE, 2003):

- Reducción de los costes de tratamiento en relación a sistemas convencionales aerobios.
- Disminución de los costes energéticos y en la utilización de fertilizantes químicos.
- Valorización de recursos, especialmente del biogás (como energía), la fibra (como compuesto) y el líquido digerido (como fertilizante líquido).
- Control más eficaz de olores y de emisiones de metano.
- Reducción de la contaminación por nitratos en cursos de agua, en virtud a la disminución de la lixiviación resultante de la aplicación más eficaz de nutrientes en el suelo.
- Adaptación a nuevas reglas ambientales y mejora de la receptividad pública al sistema de gestión de los residuos.



- Potenciación del desarrollo regional, mediante la creación de empleos y la dotación en la región de infraestructuras y medios dinamizadores de nuevas iniciativas y proyectos.

Por otro lado, el contenido en metano del biogás hace que esta mezcla gaseosa tenga una contribución importante en términos de efecto invernadero, ya que el  $\text{CH}_4$  tiene una capacidad cercana a 21 veces superior al  $\text{CO}_2$  para retener la radiación infrarroja emitida por la tierra a la atmósfera. Para minimizar esta situación, el metano en el biogás debe ser quemado y convertido en  $\text{CO}_2$  (Gonçalves, 2005; Pinto *et al.*, 2008).

No obstante, los principales inconvenientes identificados hacia las tecnologías de la digestión anaerobia son la elevada inversión inicial y los altos costes de mantenimiento, así como la exigencia de técnicos especializados para operar correctamente el sistema. Otra de las limitaciones hace referencia a la dimensión reducida de la mayoría de las explotaciones, que hace en muchos casos inviable económicamente el uso de esta tecnología. También la dispersión geográfica dificulta la implantación de estructuras comunes de digestión para varias explotaciones, toda vez que se producirán dificultades logísticas en el transporte y el consiguiente aumento de los costes de explotación.

Respecto a la tipología de las instalaciones de digestión anaerobia, existen tanto sistemas individuales, con utilización in situ de los residuos generados por una única unidad productiva, como sistemas comunitarios, resultantes de la cooperación de algunos productores vecinos con vista al procesamiento conjunto de los respectivos residuos, y como sistemas centralizados, de carácter regional, donde se hace la digestión conjunta de residuos procedentes de diversas explotaciones.

En este sentido, el concepto de estaciones centralizadas de biogás tuvo su inicio a mediados de la década de los 80 del siglo pasado. Actualmente existen decenas de sistemas de este tipo de instalaciones en operación en Europa, especialmente en Dinamarca. De una forma genérica, una estación colectiva de biogás tiene su representación en la Figura 5.2, donde se muestran

las principales opciones en términos del suministro de residuos y de la salida de los productos finales. Los sistemas centralizados suelen servir a un número determinado de diversas unidades de pequeña/mediana dimensión en un radio de aproximadamente 10 km. El producto digerido puede ser reciclado por los agricultores de la región mediante su aprovechamiento como fertilizante orgánico en los suelos. En este sentido, la separación de fases y el compostaje de la fracción sólida del producto digerido puede mejorar la obtención de un producto valorizable agrónomicamente (ADENE, 2003). No obstante, y a pesar de las políticas de la UE impulsoras de la gestión colectiva de efluentes ganaderos con aprovechamiento energético de los mismos, no existen muchos ejemplos de empresas o productores individuales que dispongan de plantas de producción de biogás. Un ejemplo de éxito es Finlandia, donde la producción de biogás en las explotaciones individuales posibilita la autogeneración energética, con la producción de electricidad y calor. También en China existen varios ejemplos con resultados muy interesantes, como los mencionados por Qi *et al.* (2005), Xiaohua *et al.* (2007) y Zhou *et al.* (2010).

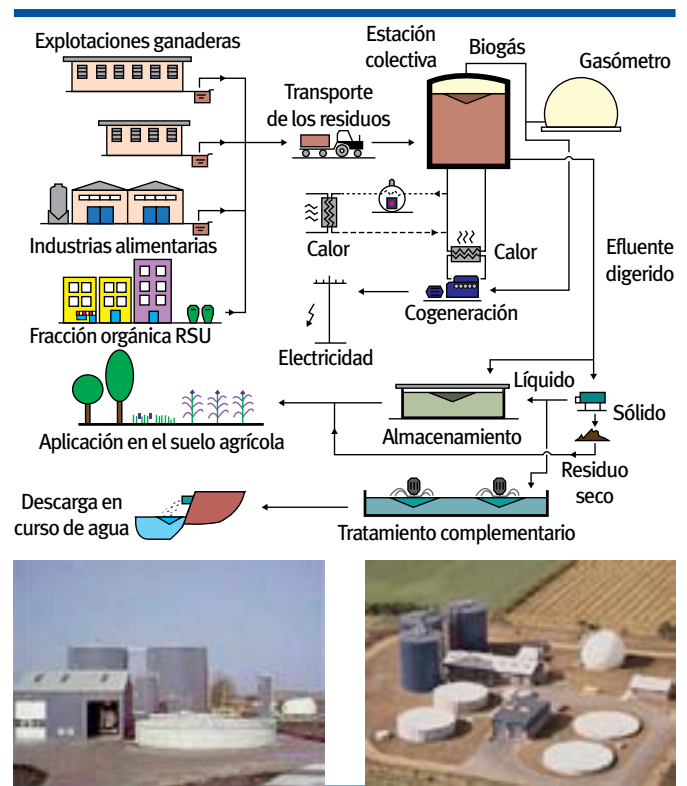


Figura 5.2. Sistema colectivo centralizado de digestión anaerobia para el procesamiento de residuos ganaderos, ubicado en Dinamarca (ADENE, 2003)



# Anexo I: Casos prácticos de cálculo de necesidades energéticas en instalaciones ganaderas

En este anexo se presentan ejemplos de cálculo de balances energéticos en diferentes instalaciones ganaderas. Dichos ejemplos se realizan bajo condiciones climáticas de invierno, ya que corresponde a la situación en que las necesidades energéticas de las edificaciones son mayores. Por ello, en todos los casos se admite que la temperatura del aire exterior va a ser de 1 °C.

Como se ha expuesto en el capítulo 2 Balance energético en las instalaciones ganaderas, del presente Manual, la ecuación general del balance térmico de un alojamiento ganadero en situación de equilibrio, puede ser expresada de la siguiente forma:

$$Q_{RS} + Q_{ani} + Q_{equ} + Q_{ilu} \pm Q_{cc} \pm Q_{ven} + Q_{cal} - Q_{ref} = 0$$

siendo  $Q_{RS}$  las ganancias de calor debidas a la radiación solar,  $Q_{ani}$  las ganancias de calor sensible debidas a los animales,  $Q_{equ}$  las ganancias de calor debidas a los equipos de la instalación (motores, bombas, etc.),  $Q_{ilu}$  las ganancias de calor debidas a la iluminación,  $Q_{cc}$  los intercambios de calor por conducción y convección a través de los paramentos del edificio,  $Q_{ven}$  los intercambios de calor debido a la ventilación,  $Q_{cal}$  las ganancias de calor debidas a los sistemas de calentamiento y  $Q_{ref}$  las pérdidas de calor debidas a los sistemas de refrigeración.

Sin embargo, algunos de los términos de la ecuación anterior son muy pequeños en relación con otros, por lo que existen ecuaciones simplificadas para el balance térmico considerando las pérdidas y ganancias más importantes para el estudio en cuestión. Así, asumiendo que las ganancias de calor más importantes son las correspondientes al calor liberado por los animales y que las pérdidas del edificio más significativas se producen por conducción-convección y por ventilación, se puede estimar las necesidades de calefacción y de refrigeración del alojamiento de la siguiente forma:

$$Q_{cal} = Q_{cc} + Q_{ven} - Q_{ani}, \text{ si } T_e < T_i$$

$$Q_{ref} = Q_{ani} + Q_{cc} + Q_{ven}, \text{ si } T_e > T_i$$

siendo  $T_e$  y  $T_i$ , respectivamente, las temperaturas fuera y dentro de la construcción.

El calor sensible liberado por los animales se puede consultar en tablas publicadas por diversos autores en fun-

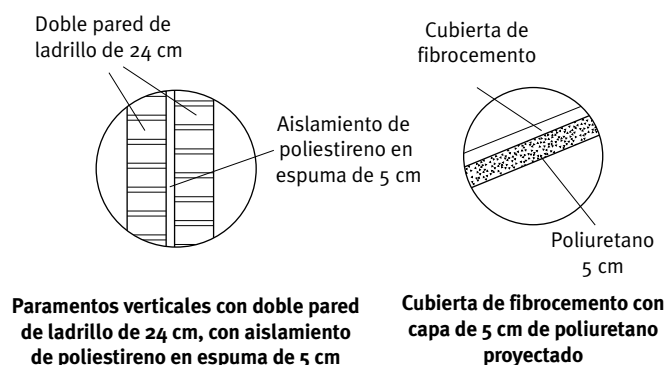
ción de la especie animal, su edad, sexo, etc. En la Tabla 2.3 del capítulo 2 de este manual, se incluyen algunos de dichos datos. Por su parte, los intercambios de calor por conducción-convección a través de la envolvente del edificio y los intercambios de calor sensible por ventilación presentan una formulación físico-matemática que fue expuesta en el mismo capítulo 2 “Balance energético en las instalaciones ganaderas” del presente Manual.

## Caso 1. Instalación de ganado porcino (cerdas madre y lechones)

Se considerará un alojamiento con las siguientes características:

- Nave para 100 cerdas madres (125 kg de peso medio por gestante) y 600 lechones (7 kg de peso medio por lechón).
- Dimensiones: longitud = 40 m; anchura = 12 m, altura = 2,8 m. La altura hasta cumbrera es de 4,3 m.
- Dos puertas metálicas de 2,2 × 1,8 m, con 5 cm de poliuretano proyectado (coeficiente de conductibilidad térmica  $\lambda = 0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ), y área de ventanas igual a 15 m<sup>2</sup>.
- Paramentos verticales de doble pared de ladrillo ( $\lambda = 0,872 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ), de 24 cm de espesor, y con aislamiento de poliestireno ( $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ), con 5 cm de espesor. En la Figura I.1 se muestra una representación esquemática de la constitución de las paredes y cubierta.
- Cubierta de fibrocemento ( $\lambda = 0,230 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ) con 5 cm de poliuretano proyectado ( $\lambda = 0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ).
- Suelo de hormigón ( $\lambda = 1,628 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ).
- Temperatura de referencia en el interior de la nave de 15 °C.
- Calor sensible liberado por las cerdas madres de 162,5 W/cerda.
- Calor sensible liberado por los lechones de 15,5 W/lechón.
- Caudal de ventilación mínimo de 30 m<sup>3</sup>/(h·cerda) y de 12 m<sup>3</sup>/(h·lechón).

**Figura I.1. Representación esquemática de la constitución de las paredes y cubierta de la nave de producción de cerdas madres y lechones**



### Calor sensible liberado por los animales

$$Q_{\text{ani}} = 100 \text{ cerdas} \times 162,5 \text{ W/cerda} + 600 \text{ lechones} \times 15,5 \text{ W/lechón} = 25.550 \text{ W}$$

### Pérdidas de calor por conducción-convección a través de los elementos de construcción

En la Tabla I.1 se recoge el cálculo de la resistencia térmica y del coeficiente global de transmisión térmica de las paredes, las puertas, las ventanas, la cubierta y el suelo de la nave. Como resultado final se obtiene un valor medio del coeficiente global de transmisión térmica para el conjunto de la construcción de 0,530 W/(m<sup>2</sup>·°C). Por su parte, en la Tabla I.2 se incluye el cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección a través de la envolvente del alojamiento, a partir de la determinación de esta misma variable para los distintos paramentos y elementos de la instalación. Se obtiene para el conjunto de la construcción unas pérdidas por conducción-convección de 7.950,38 W, lo que da lugar a una pérdidas unitarias de 567,88 W/°C.

### Intercambios de calor debido a la ventilación

Considerando un valor de la densidad del aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y de su calor específico de 1005 J/(kg °C), resultan unas pérdidas de calor por ventilación de:

$$Q_{\text{ven}} = 0,83 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1.005 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \times 14 ^\circ\text{C} = 14.013,72 \text{ W}$$

Este montante global de las pérdidas por ventilación da lugar a un valor unitario de  $Q_{\text{ven,uni}} = 1.000,98 \text{ W}/^\circ\text{C}$ .

## Cálculo de la potencia de calefacción

$$Q_{cal} = 7.950 + 14.014 - 25.550 = -3.586 \text{ W}$$

Esta diferencia entre ganancias y pérdidas de calor es pequeña, por lo que se considera que el balance energético de la instalación se encuentra equilibrado, no siendo necesario disponer de medios complementarios de acondicionamiento ambiental en la misma.

## Previsión de la temperatura interior del alojamiento

El salto térmico esperable entre el interior y el exterior de la nave ( $\Delta T$ , °C), se determina como:

$$\Delta T = \frac{Q_{ani}}{Q_{cc,uni} + Q_{ven,uni}} = \frac{25.550}{568 + 1.001} = 16,3 \text{ °C}$$

Con este valor, y considerando una situación de estabilidad térmica en el balance energético de la construcción, la temperatura interior ( $T_i$ , °C) previsible, en función de la temperatura exterior ( $T_e$ , °C), será:

$$T_i = T_e + \Delta T = 1 + 16,3 = 17,3 \text{ °C} = 17,5 \text{ °C}$$

Esta temperatura se corresponde con la que previsiblemente se producirá en el interior de la nave, la cual es superior a la de referencia del ambiente interior (15 °C). En esta situación, toda vez que la temperatura interior es adecuada a los objetivos productivos de la instalación, ya que se encuentra entre 15 y 20 °C (ver Tabla 2.1 del capítulo 2 Balance energético en las instalaciones ganaderas, del presente Manual), no será necesario prever ningún sistema complementario de acondicionamiento ambiental. Por otro lado, en el caso de los lechones, la temperatura deberá situarse entre 25 y 30 °C, lo que implica la necesidad de un sistema de calefacción localizada.

**Tabla I.1. Cálculo de la resistencia térmica ( $R_p$ , m<sup>2</sup>·°C/W) y del coeficiente global de transmisión térmica ( $U_p$ , W/(m<sup>2</sup>·°C)) de las paredes, puertas, ventanas, cubierta y suelo de la nave de ganado porcino, en función del espesor ( $e$ , m), del coeficiente de conductibilidad térmica ( $\lambda$ , W/(m·°C)) y de la resistencia térmica ( $R$ , m<sup>2</sup>·°C/W) de los materiales empleados en su construcción**

Material	$e$	$\lambda$	$R$
<i>Paredes</i>			
Rsi <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Ladrillo	0,240	0,872	0,275
Poliestireno	0,050	0,038	1,316
Ladrillo	0,240	0,872	0,872
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_p = 2,057 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_p = 0,486 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Puertas</i>			
Rsi <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Poliuretano proyectado	0,050	0,023	2,174
Metal	0,005	58,00	0,000
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_p = 2,365 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_p = 0,423 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Ventanas</i>			
Rsi <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Vidrio	0,005	1,100	0,005
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_p = 0,196 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_p = 5,113 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Cubierta</i>			
Rsi <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Poliuretano proyectado	0,050	0,023	2,174
Fibrocemento	0,006	0,230	0,026
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_p = 2,391 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_p = 0,418 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Suelo</i>			
Rsi <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Hormigón	0,200	1,628	0,123
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_p = 0,266 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_p = 3,758 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			

(1) Rsi (m<sup>2</sup>·°C/W): Resistencia térmica convectiva de la pared interior del paramento.

(2) Rse (m<sup>2</sup>·°C/W): Resistencia térmica convectiva de la pared exterior del paramento.

**Tabla I.2. Cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección, valor global  $Q_{cc}$  (W) y valor unitario  $Q_{cc,uni}$  (W/°C), en la nave de ganado porcino, a partir de los resultados obtenidos para cada uno de los elementos de la construcción, en función de la superficie (A, m<sup>2</sup>), del coeficiente global de transmisión térmica (U, W/(m<sup>2</sup>·°C)) y del salto térmico ( $\Delta T$ , °C).**

Elemento	A	U	$\Delta T$	$Q_{cc}$
Paredes	286,30	0,486	14	1.948,31
Puertas	7,92	0,423	14	46,88
Ventanas	15,00	5,113	14	1.073,80
Cubierta	494,80	0,418	14	2.897,17
Suelo	96,00 <sup>(1)</sup>	3,758	5,5 <sup>(2)</sup>	1.984,22
<b><math>Q_{cc} = 7.950,38 \text{ W} - Q_{cc,uni} = 567,88 \text{ W/}^\circ\text{C}</math></b>				

(1) La superficie efectiva de pérdida de calor del suelo se considera del 20% de la superficie total.

(2) La temperatura del suelo se ha considerado de 9,5 °C, correspondiente a la medida a 1,5 m de profundidad.

## Caso 2. Instalación de ganado porcino (cerdos de engorde)

Se considera una instalación con las siguientes propiedades:

- Las características constructivas de la nave (dimensiones, elementos constructivos y materiales empleados en la conformación de paredes, suelo y cubierta) se consideran similares a las del Caso 1. Instalación de ganado porcino (cerdas madre y lechones), estudiado con antelación, suponiendo que las dos construcciones pertenecen a la misma explotación.
- Nave para 600 cerdos de engorde con un peso medio de 70 kg/cerdo.
- Temperatura de referencia en el interior de la nave de 15 °C.
- Calor sensible liberado por los cerdos de 105 W/cerdo.
- Caudal de ventilación mínimo de 19 m<sup>3</sup>/(h·animal).

### Calor sensible liberado por los animales

$$Q_{ani} = 600 \text{ cerdos} = 105 \text{ W/cerdo} = 63.000 \text{ W}$$

### Pérdidas de calor por conducción-convección a través de los elementos de construcción

Debido a la similitud de la construcción de este ejemplo con la del Caso 1, el cálculo de la resistencia térmica y del coeficiente global de transmisión térmica de las paredes, puertas, ventanas, cubierta y suelo de la presente nave se corresponde con los valores incluidos en la Tabla I.1. También en este caso, el valor medio del coeficiente global de transmisión térmica para el conjunto de la construcción es de 0,530 W/(m<sup>2</sup>·°C). Por el mismo motivo, en la Tabla I.2 se incluye el cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección a través de la envolvente del alojamiento, a partir de la determinación de esta misma variable para los distintos paramentos y elementos de la instalación. Se obtiene para el conjunto de la construcción unas pérdidas por conducción-convección de 7.950,38 W, lo que da lugar a una pérdidas unitarias de 567,88 W/°C.

### Intercambios de calor debido a la ventilación

Considerando un valor de la densidad del aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y de su calor específico de 1.005 J/(kg °C), resultan unas pérdidas de calor por ventilación de:

$$Q_{ven} = 3,18 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1.005 \text{ J/(kg }^\circ\text{C)} \times 14 \text{ }^\circ\text{C} = 53.691,12 \text{ W}$$

Este montante global de las pérdidas por ventilación da lugar a un valor unitario de  $Q_{ven,uni} = 3.835,08 \text{ W/}^\circ\text{C}$ .

### Cálculo de la potencia de calefacción

$$Q_{cat} = 7.950 + 53.691 - 63.000 = -1.359 \text{ W}$$

Esta diferencia entre ganancias y pérdidas de calor es pequeña, por lo que se considera que el balance energético de la instalación se encuentra equilibrado, no siendo necesario disponer de medios complementarios de acondicionamiento ambiental en la misma.

### Previsión de la temperatura interior del alojamiento

El salto térmico esperable entre el interior y el exterior de la nave ( $\Delta T$ , °C), se determina como:

$$\Delta T = \frac{Q_{ani}}{Q_{cc,uni} + Q_{ven,uni}} = \frac{63.000}{568 + 3.835} = 14,3 \text{ }^\circ\text{C}$$



Con este valor, y considerando una situación de estabilidad térmica en el balance energético de la construcción, la temperatura interior ( $T_i$ , °C) previsible, en función de la temperatura exterior ( $T_e$ , °C), será:

$$T_i = T_e + \Delta T = 1 + 14,3 = 15,3 \text{ °C} \approx 15 \text{ °C}$$

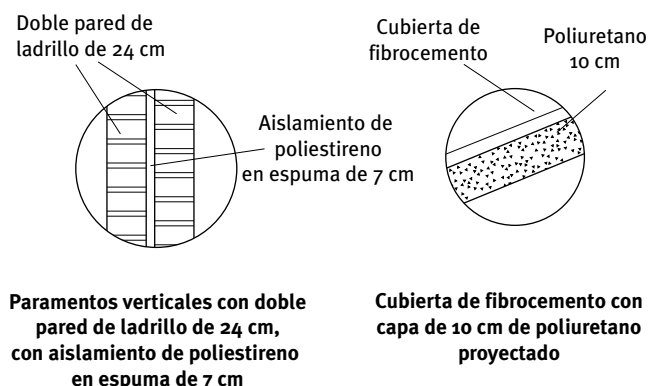
Esta temperatura se corresponde con la que previsiblemente se producirá en el interior de la nave, la cual coincide con la temperatura de referencia para el ganado porcino de engorde (ver Tabla 2.1 del capítulo 2 Balance energético en las instalaciones ganaderas, del presente Manual). En esta situación, el balance energético de la nave está en equilibrio, no siendo necesario calentar ni enfriar.

### Caso 3. Instalación avícola de engorde

Se considerará un alojamiento con las siguientes características:

- Nave para 16.800 pollos (1,5 kg de peso medio por pollo).
- Dimensiones: longitud = 100 m; anchura = 12 m, altura = 3 m. La altura hasta cumbrera es de 4,8 m.
- Dos puertas metálicas de 4 × 3 m, con 5 cm de poliuretano proyectado (coeficiente de conductibilidad térmica  $\lambda = 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ), y área de ventanas igual a 20 m<sup>2</sup>.
- Paramentos verticales de doble pared de ladrillo ( $\lambda = 0,872 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ), de 24 cm de espesor, y con aislamiento de poliestireno ( $\lambda = 0,038 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ), con 7 cm de espesor. En la Figura I.2 se muestra una representación esquemática de la constitución de las paredes y cubierta.
- Cubierta de fibrocemento ( $\lambda = 0,230 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ) con 10 cm de poliuretano proyectado ( $\lambda = 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ).
- Suelo de hormigón ( $\lambda = 1,628 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$ ).
- Temperatura de referencia en el interior de la nave de 22 °C.
- Calor sensible liberado por los animales de 9,75 W/pollo.
- Caudal de ventilación mínimo de 1,4 m<sup>3</sup>/(h·animal).

**Figura I.2. Representación esquemática de la constitución de las paredes y cubierta de la nave de producción de aves de engorde**



#### Calor sensible liberado por los animales

$$Q_{\text{ani}} = 16.800 \text{ pollos} \times 9,75 \text{ W/pollo} = 163.800 \text{ W}$$

#### Pérdidas de calor por conducción-convección a través de los elementos de construcción

En la Tabla I.3 se recoge el cálculo de la resistencia térmica y del coeficiente global de transmisión térmica de las paredes, las puertas, las ventanas, la cubierta y el suelo de la nave. Como resultado final se obtiene un valor medio del coeficiente global de transmisión térmica para el conjunto de la construcción de 0,330 W/(m<sup>2</sup>·°C). Por su parte, en la Tabla I.4 se incluye el cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección a través de la envolvente del alojamiento, a partir de la determinación de este misma variable para los distintos paramentos y elementos de la instalación. Se obtiene para el conjunto de la construcción unas pérdidas por conducción-convección de 24.481,50 W, lo que da lugar a una pérdidas unitarias de 1.165,78 W/°C.

#### Intercambios de calor debido a la ventilación

Considerando un valor de la densidad del aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y de su calor específico de 1.005 J/(kg °C), resultan unas pérdidas de calor por ventilación de:

$$Q_{\text{ven}} = 6,55 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1.005 \text{ J/(kg °C)} \times 21 \text{ °C} = 165.885,30 \text{ W}$$

Este montante global de las pérdidas por ventilación da lugar a un valor unitario de  $Q_{\text{ven,uni}} = 7.899,3 \text{ W/°C}$ .

### Cálculo de la potencia de calefacción

$$Q_{cal} = 24.481 + 165.885 - 163.800 = 26.566 \text{ W}$$

Como las pérdidas de calor son mayores que las ganancias, será necesario calentar la nave con objeto de mantener la temperatura interior de referencia. La potencia útil calorífica del sistema de calefacción estará en torno a los 26 kW.

### Previsión de la temperatura interior del alojamiento

El salto térmico esperable entre el interior y el exterior de la nave ( $\Delta T$ , °C), se determina como:

$$\Delta T = \frac{Q_{ani}}{Q_{cc,uni} + Q_{ven,uni}} = \frac{163.800}{1.166 + 7.899} = 18 \text{ °C}$$

Con este valor, y considerando una situación de estabilidad térmica en el balance energético de la construcción, la temperatura interior ( $T_i$ , °C) previsible, en función de la temperatura exterior ( $T_e$ , °C), será:

$$T_i = T_e + \Delta T = 1 + 18 = 19 \text{ °C}$$

Esta temperatura se corresponde con la que previsiblemente se producirá en el interior de la nave, la cual es inferior a la de referencia del ambiente interior (22 °C). En esta situación sería necesario calentar el alojamiento para que la temperatura ambiente se aproximase al valor de referencia. No obstante, como la temperatura está en el intervalo de 15-20 °C, intervalo de temperaturas adecuados para la producción de pollos de engorde (ver Tabla 2.1 del capítulo 2 Balance energético en las instalaciones ganaderas, del presente Manual), se puede admitir como aceptable el balance térmico y no recurrir al empleo de la calefacción. En esta situación habría que hacer cálculos económicos y decidir si el aumento de los costes energéticos por calefacción son compensados con el aumento en la producción que se conseguiría.

**Tabla 1.3. Cálculo de la resistencia térmica ( $R_a$ , m<sup>2</sup>·°C/W) y del coeficiente global de transmisión térmica ( $U_a$ , W/(m<sup>2</sup>·°C)) de las paredes, puertas, ventanas, cubierta y suelo de la nave de aves de engorde, en función del espesor (e, m), del coeficiente de conductibilidad térmica ( $\lambda$ , W/(m·°C)) y de la resistencia térmica (R, m<sup>2</sup>·°C/W) de los materiales empleados en su construcción**

Material	e	$\lambda$	R
<i>Paredes</i>			
Rsj <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Ladrillo	0,240	0,872	0,275
Poliestireno	0,070	0,038	1,842
Ladrillo	0,240	0,872	0,872
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_a = 2,584 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_a = 0,387 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Puertas</i>			
Rsj <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Poliuretano proyectado	0,050	0,023	2,174
Metal	0,005	58,00	0,000
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_a = 2,365 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_a = 0,423 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Ventanas</i>			
Rsj <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Vidrio	0,005	1,100	0,005
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_a = 0,196 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_a = 5,113 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Cubierta</i>			
Rsj <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Poliuretano proyectado	0,100	0,023	4,384
Fibrocemento	0,006	0,230	0,026
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	0,048
<b><math>R_a = 4,565 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_a = 0,219 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			
<i>Suelo</i>			
Rsj <sup>(1)</sup>	---	---	0,143
Hormigón	0,200	1,628	0,123
Rse <sup>(2)</sup>	---	---	---
<b><math>R_a = 0,266 \text{ m}^2 \cdot \text{°C/W} - U_a = 3,758 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{°C})</math></b>			

(1) Rsi (m<sup>2</sup>·°C/W): Resistencia térmica convectiva de la pared interior del paramento.

(2) Rse (m<sup>2</sup>·°C/W): Resistencia térmica convectiva de la pared exterior del paramento.

**Tabla I.4. Cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección, valor global  $Q_{cc}$  (W) y valor unitario  $Q_{cc,uni}$  (W/°C), en la nave de aves de engorde, a partir de los resultados obtenidos para cada uno de los elementos de la construcción, en función de la superficie (A, m<sup>2</sup>), del coeficiente global de transmisión térmica (U, W/(m<sup>2</sup>·°C)) y del salto térmico ( $\Delta T$ , °C)**

Elemento	A	U	$\Delta T$	$Q_{cc}$
Paredes	649,60	0,387	21	5.279,30
Puertas	24,00	0,423	21	213,19
Ventanas		5,113	21	2.147,46
Cubierta	1.210,60	0,219	21	5.567,55
Suelo	240,00 <sup>(1)</sup>	3,758	12,5 <sup>(2)</sup>	11.274,00
<b><math>Q_{cc} = 24.481,50 \text{ W} - Q_{cc,uni} = 1.165,78 \text{ W/}^\circ\text{C}</math></b>				

(1) La superficie efectiva de pérdida de calor del suelo se considera del 20% de la superficie total.

(2) La temperatura del suelo se ha considerado de 9,5 °C, correspondiente a la medida a 1,5 m de profundidad.

## Caso 4. Instalación de vacuno de leche

Se considerará un alojamiento con las siguientes características:

- Nave destinada a alojar 140 vacas (450 kg de peso medio por vaca).
- Dimensiones: longitud = 50 m; anchura = 32 m, altura = 5,5 m. La altura hasta cumbrera es de 7,5 m.
- Paramentos verticales de pared de ladrillo perforado ( $\lambda = 0,756 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ), de 24 cm de espesor, enfoscados con cemento ( $\lambda = 1,396 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ).
- Las aberturas de los paramentos se encuentran libres, es decir, sin puertas o ventanas.
- Cubierta de fibrocemento ( $\lambda = 0,230 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ).
- Suelo de hormigón ( $\lambda = 1,628 \text{ W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ ).
- Temperatura de referencia en el interior de la nave de 15 °C.
- Calor sensible liberado por los animales de 540 W/vaca.
- Caudal de ventilación mínimo de 80 m<sup>3</sup>/(h·animal).

Calor sensible liberado por los animales

$$Q_{ani} = 140 \text{ vacas} \times 540 \text{ W/vaca} = 75.600 \text{ W}$$

Pérdidas de calor por conducción-convección a través de los elementos de construcción

En la Tabla I.5 se recoge el cálculo de la resistencia térmica y del coeficiente global de transmisión térmica de las paredes, la cubierta y el suelo de la nave. Como resultado final se obtiene un valor medio del coeficiente global de transmisión térmica para el conjunto de la construcción de 4,061 W/(m<sup>2</sup>·°C). Por su parte, en la Tabla I.6 se incluye el cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección a través de la envolvente del alojamiento, a partir de la determinación de esta misma variable para los distintos paramentos y elementos de la instalación. Se obtiene para el conjunto de la construcción unas pérdidas por conducción-convección de 132.752,33 W, lo que da lugar a una pérdidas unitarias de 9.482,31 W/°C.

Intercambios de calor debido a la ventilación

Considerando un valor de la densidad del aire de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y de su calor específico de 1.005 J/(kg °C), resultan unas pérdidas de calor por ventilación de:

$$Q_{ven} = 3,11 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \times 1.005 \text{ J}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \times 14 ^\circ\text{C} \\ = 52.509,24 \text{ W}$$

Este montante global de las pérdidas por ventilación da lugar a un valor unitario de  $Q_{ven,uni} = 3.750,66 \text{ W}/^\circ\text{C}$ .

**Tabla I.5. Cálculo de la resistencia térmica ( $R_v$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) y del coeficiente global de transmisión térmica ( $U_v$ ,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ) de las paredes, puertas, ventanas, cubierta y suelo de la nave de vacuno de leche, en función del espesor ( $e$ , m), del coeficiente de conductibilidad térmica ( $\lambda$ ,  $W/(m \cdot ^\circ C)$ ) y de la resistencia térmica ( $R$ ,  $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ) de los materiales empleados en su construcción**

Material	e	$\lambda$	R
<i>Paredes</i>			
$R_{si}^{(1)}$	---	---	0,143
Enfoscado	0,020	1,396	0,014
Ladrillo	0,240	0,756	0,317
Enfoscado	0,020	1,396	0,014
$R_{se}^{(2)}$	---	---	0,048
<b><math>R_v = 0,537 m^2 \cdot ^\circ C/W - U_v = 1,862 W/(m^2 \cdot ^\circ C)</math></b>			
<i>Cubierta</i>			
$R_{si}^{(1)}$	---	---	0,143
Fibro cemento	0,006	0,230	0,026
$R_{se}^{(2)}$	---	---	0,048
<b><math>R_v = 0,217 m^2 \cdot ^\circ C/W - U_v = 4,606 W/(m^2 \cdot ^\circ C)</math></b>			
<i>Suelo</i>			
$R_{si}^{(1)}$	---	---	0,143
Hormigón	0,200	1,628	0,123
$R_{se}^{(2)}$	---	---	---
<b><math>R_v = 0,266 m^2 \cdot ^\circ C/W - U_v = 3,758 W/(m^2 \cdot ^\circ C)</math></b>			

- (1)  $R_{si}$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ): Resistencia térmica convectiva de la pared interior del paramento.  
 (2)  $R_{se}$  ( $m^2 \cdot ^\circ C/W$ ): Resistencia térmica convectiva de la pared exterior del paramento.

**Tabla I.6. Cálculo de la cantidad de calor intercambiado por conducción-convección, valor global  $Q_{cc}$  (W) y valor unitario  $Q_{cc,uni}$  ( $W/^\circ C$ ), en la nave de vacuno de leche, a partir de los resultados obtenidos para cada uno de los elementos de la construcción, en función de la superficie ( $A$ ,  $m^2$ ), del coeficiente global de transmisión térmica ( $U$ ,  $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$ ) y del salto térmico ( $\Delta T$ ,  $^\circ C$ )**

Elemento	A	U	$\Delta T$	$Q_{cc}$
Paredes	850,00	1,862	14	22.157,80
Cubierta	1.612,50	4,606	14	103.980,45
Suelo	320,00 <sup>(1)</sup>	3,758	5,5 <sup>(2)</sup>	6.614,08
<b><math>Q_{cc} = 132.752,33 W - Q_{cc,uni} = 9.482,31 W/^\circ C</math></b>				

- (1) La superficie efectiva de pérdida de calor del suelo se considera del 20% de la superficie total.  
 (2) La temperatura del suelo se ha considerado de 9,5  $^\circ C$ , correspondiente a la medida a 1,5 m de profundidad.

## Cálculo de la potencia de calefacción

$$Q_{cal} = 132.752 + 52.509 - 75.600 = 109.661 W$$

Como las pérdidas de calor son mayores que las ganancias, será necesario calentar la nave con objeto de mantener la temperatura interior de referencia. La potencia útil calorífica del sistema de calefacción estará en torno a los 110 kW.

## Previsión de la temperatura interior del alojamiento

El salto térmico esperable entre el interior y el exterior de la nave ( $\Delta T$ ,  $^\circ C$ ), se determina como:

$$\Delta T = \frac{Q_{ani}}{Q_{cc,uni} + Q_{ven,uni}} = \frac{75.600}{9.482 + 3.751} = 5,7^\circ C$$

Con este valor, y considerando una situación de estabilidad térmica en el balance energético de la construcción, la temperatura interior ( $T_i$ ,  $^\circ C$ ) previsible, en función de la temperatura exterior ( $T_e$ ,  $^\circ C$ ), será:

$$T_i = T_e + \Delta T = 1 + 5,7 = 6,7^\circ C \approx 7^\circ C$$

Esta temperatura se corresponde con la que previsiblemente se producirá en el interior de la nave, la cual es inferior a la de referencia del ambiente interior (15  $^\circ C$ ). En esta situación sería necesario calentar el alojamiento para que la temperatura ambiente se aproximase al valor de referencia. No obstante, como en el ejemplo se contempla una explotación de vacuno de leche para la que la producción de leche prácticamente no se ve afectada en un rango de temperatura ambiente entre -1 y 22  $^\circ C$ , no sería necesario instalar un sistema de calefacción. En esta situación habría que hacer cálculos económicos y decidir si el aumento de los costes energéticos por calefacción sería compensado con el aumento en la producción que se conseguiría.

Para finalizar, en la Tabla I.7 se muestra un resumen de algunos de los parámetros energéticos obtenidos con el cálculo de los balances energéticos presentados en los ejemplos anteriores, a los que se identificará como Cálculo I. Se muestran en comparación con los mismos parámetros calculados con alguna modificación en las características constructivas del edificio con objeto de cambiar su comportamiento energético (Cálculo II).

En el Cálculo II de las naves de cerdos y de pollos se ha quitado el aislamiento de las paredes, puertas y cubierta, lo que se traduce en un aumento muy significativo de las pérdidas de calor a través de la envolvente de la construcción y en un aumento de las necesidades de potencia calorífica, demostrando la importancia que tiene un buen nivel de aislamiento en la construcción como forma de disminuir los consumos de energía. Se observa también que para niveles bajos de aislamiento la mayor parte de las pérdidas de calor se producen a través de la cubierta (entre 70 y 80%).

Para la nave de vacuno de leche se procede a la inversa, ya que habitualmente las naves no están aisladas

(Cálculo I). En este caso, la mayor parte de las pérdidas de calor son a través la cubierta. En el Cálculo II se incorporó un aislamiento en las paredes y en la cubierta, lo que permitió disminuir los intercambios de calor por conducción-convección a través de los paramentos del edificio. Al mismo tiempo, se alteró la proporción de intercambios a través de los diferentes elementos de construcción, lo que en esta situación es sobre todo importante en verano, ya que las ganancias de calor por la cubierta disminuyen bastante (aproximadamente un 20%), factor importante para las explotaciones de vacas lecheras, ya que la producción de leche está muy afectada por las altas temperaturas.

**Tabla I.7. Valores resumen de algunos de los parámetros obtenidos con el cálculo del balance energético para los ejemplos estudiados (Cálculo I) y con modificaciones en las características constructivas de las edificaciones (Cálculo II): U, coeficiente global de transmisión térmica, y P, potencia útil de calefacción**

Instalación	U (W/(m <sup>2</sup> .°C))		P (kW)		Distribución porcentual de pérdidas (%)					
					Paredes		Cubierta		Suelo	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Porcino	0,530	3,462	0	30	24	13	36	78	25	5
Aves	0,330	3,508	26	149	21	13	23	80	46	5
Vacuno	4,061	0,442	110 <sup>(1)</sup>	0	17	19	78	60	5	21

(1) Resultado del balance energético, aunque en estas explotaciones no es necesario.





## Anexo II: Ejemplo de dimensionamiento de una instalación de energía solar térmica

---

El presente anexo tiene como objetivo hacer un ejemplo de dimensionamiento y estudiar la viabilidad económica de la introducción de la captación solar térmica activa de baja temperatura en una explotación ganadera, para la generación del agua caliente empleada en la misma.

La explotación ganadera considerada se encuentra localizada en la provincia de Valladolid y se destina a la producción de leche procedente de ganado ovino de raza churra, con un volumen de producción de 200.000 l/año de leche, con régimen de explotación semiextensivo con pastoreo. De forma secundaria, la explotación se destina a la producción de carne, sacrificando 500 lechazos/año a los 25 días de vida con 10 kg de peso vivo por animal.

El destino de la instalación de energía solar térmica de baja temperatura (EST-BT) es la generación de ACS empleada en tareas de limpieza del equipamiento de ordeño y en otros elementos de la explotación, así como para la higiene de los trabajadores. La demanda de ACS es prácticamente constante todos los días del año, sin la existencia de períodos de consumo preferente. En la actualidad, el agua caliente se produce en la explotación mediante un termo eléctrico de 2 kW de potencia, el cual funciona una media de 4 h diarias. El coste de la energía eléctrica consumida por la explotación es de 17,43 c€/kWh. El consumo diario de ACS es de 160 l, a una temperatura de utilización de 60 °C.

El tipo de captador solar plano a emplear será el estándar para aplicaciones EST-BT de cubierta simple, con una superficie de captación en torno a 2 m<sup>2</sup>, un factor de eficiencia óptica próximo a 0,8 y un factor global de pérdidas alrededor de 7 W/(m<sup>2</sup>·°C). Los valores concretos considerados en el presente estudio de las características básicas del captador han sido los siguientes:

- Superficie de captación: 1,88 m<sup>2</sup>.
- Factor de eficiencia óptica: 0,77.
- Factor global de pérdidas: 6,94 W/(m<sup>2</sup>·°C).

La inclinación de los captadores respecto a la horizontal se considera igual a la latitud del emplazamiento  $\pm 5^\circ$ , mientras que la máxima desviación respecto a la orientación sur óptima se estima en  $\pm 30^\circ$ . Con estas consideraciones, las pérdidas máximas por inclinación y orientación estarán en torno al 3%. Por su parte, las pérdidas estimadas por sombreado se evalúan, en el peor de los casos, en torno al 5%.

Para el dimensionamiento de la instalación EST-BT y el cálculo de la fracción solar se emplea el método F-Chart. Por otro lado, los datos geográficos y meteorológicos empleados son los disponibles a nivel provincial para Valladolid (estación meteorológica de la ciudad de Valladolid, situada a  $41,39^\circ$  de latitud norte, 694 m de altitud sobre el nivel del mar, humedad relativa media anual del 45%, velocidad media anual del viento de 10 km/h,  $33^\circ\text{C}$  de temperatura media de máximas durante los meses de verano y  $-5^\circ\text{C}$  de temperatura media de mínimas durante los meses de invierno).

En la información recogida a continuación (Tabla II.1, Figura II.1 y Figura II.2) se muestran los datos meteorológicos correspondientes a la localización de la explotación y los resultados del estudio realizado, esto es, la demanda energética referida al consumo de agua caliente y el comportamiento energético de la instalación estudiada, empleando un único captador (resultado económico más favorable). Se observa como la fracción solar media anual es del 33,79%, produciéndose la máxima cobertura en el mes de agosto (56,95%) y la mínima en el mes de diciembre (1,95%). El rendimiento medio anual de la instalación es del 35,82%, con un valor máximo en el mes de agosto (43,32%) y un valor mínimo en el mes de diciembre (6,48%).

El estudio económico se realiza con dos alternativas: con y sin subvenciones a la instalación EST-BT. En el caso de considerar subvenciones, éstas se evalúan según lo establecido en la Comunidad Autónoma de Castilla y León en las convocatorias de subvenciones públicas para actuaciones de EST, en el marco del Plan Solar de Castilla y León. Así, la instalación que nos ocupa se acogería a la línea subvencionable

EST 4 (Instalación por elementos de sistemas de energía solar para calentamiento de un fluido a partir de la captación de la radiación solar mediante captadores solares cuyo coeficiente global de pérdidas es inferior a  $9\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$  y superior a  $5\text{ W}/(\text{m}^2\cdot^\circ\text{C})$ ), para las que el coste subvencionable (caso de beneficiario no empresarial) es del 35%.

El análisis básico de rentabilidad evalúa económicamente la energía eléctrica que deja de ser consumida como consecuencia de la introducción del sistema solar. Se considerarán rentables aquellas situaciones en las que se amorticen las inversiones en el sistema solar térmico, como consecuencia del ahorro en energía eléctrica, antes de llegar a la vida útil de la instalación, que se cifra en 15 años.

Para realizar este análisis de viabilidad económica se ha considerado un coste de la instalación EST-BT de  $1.330\text{ €/m}^2$  ( $865\text{ €/m}^2$  en el caso de que se aplique subvención). Teniendo en cuenta que el termo eléctrico funciona 4 h/día y que las operaciones de limpieza que justifican el uso del agua caliente se realizan todos los días del año (1.460 h/año), resulta un consumo eléctrico para caldeo del agua de  $2.920\text{ kWh/año}$ , lo cual significa un coste económico de  $509\text{ €/año}$ . Teniendo en cuenta que la instalación EST-BT proyectada propicia un ahorro del 33,79% de la energía térmica consumida obtenida eléctricamente, este ahorro energético se expresa en un ahorro económico de  $172\text{ €/año}$ , lo cual se traduce en un período de retorno simple de la inversión de 15 años sin considerar subvenciones, y de 9 años teniendo en cuenta las subvenciones. Peores indicadores de rentabilidad económica son obtenidos considerando mayor número de captadores.

Por todo ello, la inversión analizada para este sistema solar para la generación de agua caliente se amortiza en la segunda mitad de su vida útil. En este caso, esto se debe a la limitada demanda energética por consumo de agua caliente de la instalación, que hace que los ahorros económicos conseguidos con la energía solar térmica no compensen ante los costes de inversión de la misma.

**Tabla II.1. Resultados mensuales y anuales del estudio técnico y económico de la instalación EST-BT proyectada:**  $T_a$ , temperatura media ambiental, °C;  $T_{red}$ , temperatura media del agua de reposición, °C;  $H$ , irradiancia solar media diaria sobre superficie horizontal,  $W/m^2$ ;  $I$ , irradiancia solar media diaria sobre el plano de los captadores,  $W/m^2$ ;  $C_{ACS}$ , consumo de ACS,  $m^3/mes$ ;  $\Delta T_{ACS}$ , salto térmico del agua entre la temperatura de preparación del ACS y la temperatura media del agua de reposición, °C;  $Q_{ACS}$ , energía necesaria para cubrir la demanda de ACS, MJ/mes;  $Q_{EST}$ , energía aportada por la instalación de EST-BT, MJ/mes;  $A$ , ahorro energético, %;  $f$ , fracción solar, %;  $\eta$ , rendimiento medio de la instalación EST-BT

Meses	EN	FE	MZ	AB	MY	JN	JL	AG	SE	OC	NO	DI	Año
$T_a$	3,3	5,1	8,6	11,0	14,1	18,5	21,3	20,4	17,8	12,9	7,7	4,4	12,1
$T_{red}$	10,0	11,2	12,4	13,6	14,8	16,0	17,2	16,0	14,8	13,6	12,4	11,2	13,6
$H$	51,7	119,8	149,8	196,3	225,0	263,9	288,6	263,4	185,5	126,4	70,2	41,9	165,2
$I$	81,3	187,2	187,2	202,9	205,3	226,9	253,5	259,4	216,5	152,8	114,5	65,9	179,4
$C_{ACS}$	5,0	4,5	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0	5,0	4,8	5,0	4,8	5,0	58,4
$\Delta T_{ACS}$	50,0	48,8	47,6	46,4	45,2	44,0	42,8	44,0	45,2	46,4	47,6	48,8	---
$Q_{ACS}$	1.038	915	988	932	938	884	888	913	908	963	956	1.013	11.334
$Q_{EST}$	68	315	352	376	395	433	500	520	419	274	158	20	3.830
$A$	6,58	34,45	35,65	40,31	42,10	48,99	56,34	56,95	46,11	28,49	16,55	1,95	33,79
$f$	6,58	34,45	35,65	40,31	42,10	48,99	56,34	56,95	46,11	28,49	16,55	1,95	33,79
$\eta$	18,16	40,25	40,65	41,33	41,57	42,60	42,66	43,32	43,16	38,80	30,86	6,48	35,82

**Figura II.1. Evolución mensual de la aportación solar (energía suministrada por la instalación EST-BT) y de la demanda energética (energía necesaria para cubrir la demanda de ACS) para la instalación EST-BT proyectada**

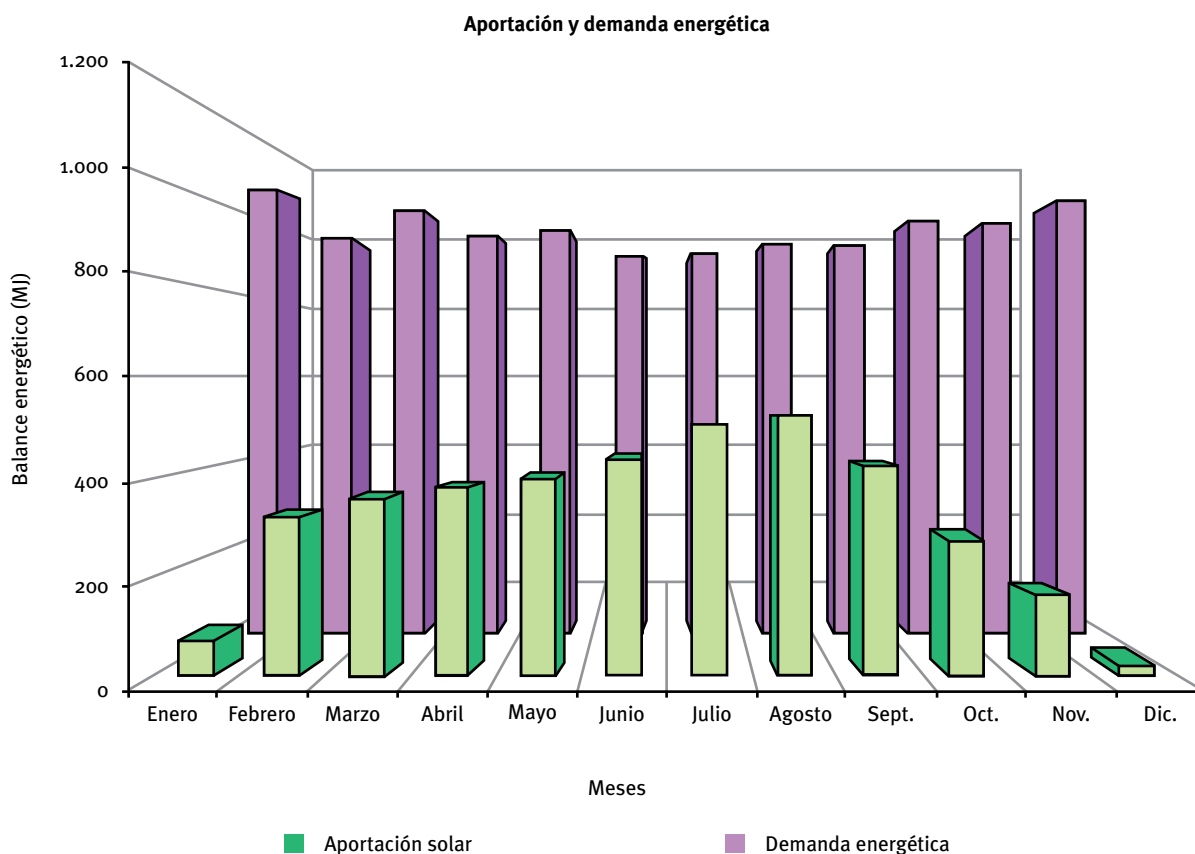
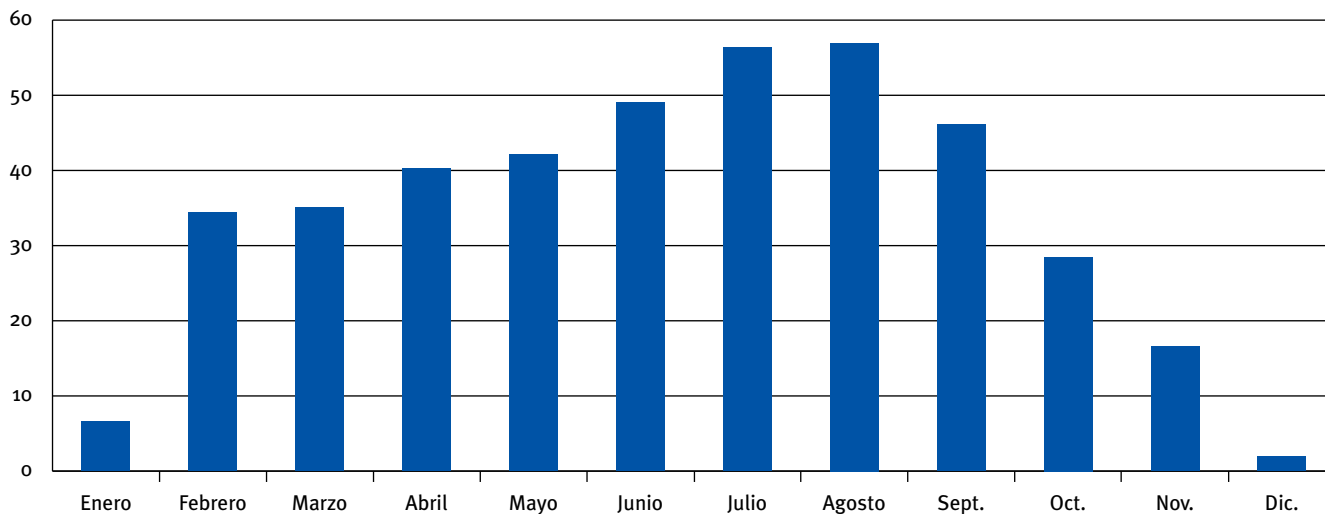


Figura II.2. Evolución mensual de la fracción solar para la instalación EST-BT proyectada

Fracción solar "f"

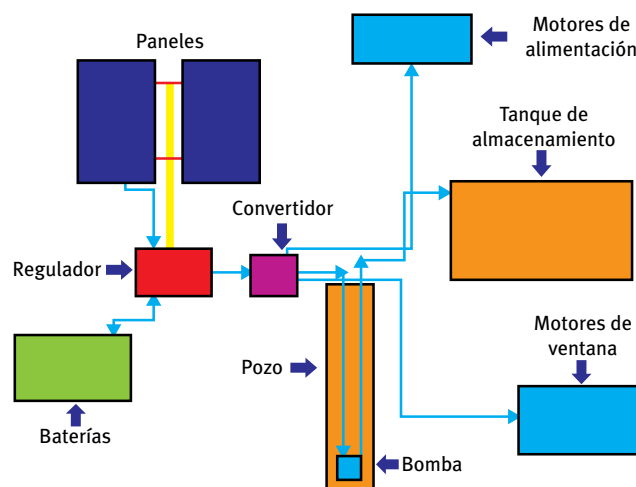


## Anexo III: Ejemplo de dimensionamiento de una instalación de energía solar fotovoltaica

El ejemplo de dimensionamiento y evaluación económica de una instalación de energía solar fotovoltaica (ESF) que se incluye en el presente anexo, tiene como objetivo analizar la viabilidad de la sustitución de un grupo electrógeno de 28 kW de potencia alimentado con gasóleo por un equipo fotovoltaico, con la finalidad de proporcionar el suministro eléctrico requerido por una explotación de ganado porcino de engorde. Dicha instalación, ubicada en la provincia de Valladolid, tiene una producción diaria de 950 kg de carne, en régimen de explotación intensivo, y no se encuentra conectada a la red de suministro eléctrico público.

En la actualidad, el generador eléctrico proporciona energía al motor de la bomba de abastecimiento de agua de 0,463 kW de potencia, la cual funciona 5 h/día moviendo un caudal de 6.000 l/h a una altura manométrica de 15 m (Figura III.1). Con esta bomba se recarga un depósito de agua de 30.000 l desde el que se abastece al conjunto de la explotación. La instalación además dispone de dos motores para la distribución del alimento al ganado, con una potencia eléctrica de 0,75 kW cada motor, que funcionan simultáneamente durante 30 min/día. También dispone de dos motores de apertura de ventanas, que funcionan simultáneamente durante aproximadamente 120 min/día y que tienen una potencia de 0,5 kW cada uno. No se considera el consumo del sistema de iluminación, ya que el mismo sólo se emplea de forma esporádica (toda la actividad de la explotación es durante las horas diurnas), alimentándose las lámparas mediante baterías independientes.

**Figura III.1. Esquema de la instalación ESF que presta el servicio eléctrico a la explotación de ganado porcino**



Los datos geográficos y meteorológicos empleados son los disponibles a nivel provincial para Valladolid, en concreto referidos a la estación meteorológica de la ciudad de Valladolid, situada a 41,39° de latitud norte, 694 m de altitud sobre el nivel del mar, humedad relativa media anual del 45%, velocidad media anual del viento de 10 km/h, 33 °C de temperatura media de máximas durante los meses de verano y -5 °C de temperatura media de mínimas durante los meses de invierno.

Para el cálculo de la instalación ESF se ha utilizado el procedimiento conocido como el del “mes peor”, en el que, partiendo de datos medios mensuales de la irradiancia solar media diaria sobre el plano de los módulos ( $I$ , W/m<sup>2</sup>), sólo se tienen en cuenta los valores del mes más desfavorable referido a la relación carga/radiación. Según este método, es preciso conocer previamente el número máximo de días de autonomía ( $D$ , días), en función de las necesidades de la instalación (importancia del servicio eléctrico prestado), de las características climatológicas de la zona y de las limitaciones económicas de la inversión, ya que cuanto mayor sea  $D$ , mayor es la misma.

También se ha de seleccionar previamente el módulo solar fotovoltaico. En este ejemplo se ha optado por un módulo cuyas características son:

- Potencia pico,  $P_p = 200 \text{ W}_p$ .
- Intensidad pico,  $I_p = 7,72 \text{ A}$ .
- Tensión pico,  $V_p = 25,9 \text{ Vca}$ .

Los módulos fotovoltaicos se dispondrán con una inclinación respecto a la horizontal igual a la latitud del emplazamiento  $\pm 5^\circ$ , mientras que la máxima desviación respecto a la orientación sur óptima se estima en  $\pm 30^\circ$ . Las pérdidas de captación que se han considerado en estas condiciones ascienden al 10%.

El consumo eléctrico de la explotación ganadera se calcula multiplicando la potencia de cada uno de los receptores por su tiempo de funcionamiento. Así, el consumo medido de energía en ca ( $T_2$ , Wh/día) será:

$$T_2 = (0,463 \text{ kW} \times 5 \text{ h/día}) + (0,75 \text{ kW} \times 2 \times 0,5 \text{ h/día}) + (0,5 \text{ kW} \times 2 \times 2 \text{ h/día}) = 5,065 \text{ kWh/día} = 5.065 \text{ Wh/día}$$

Hay que tener en cuenta además que los receptores son de corriente alterna, por lo que se deberá considerar el rendimiento del inversor. Para el presente ejemplo de dimensionamiento se ha considerado un inversor con un rendimiento del 92%. Así, tomando un margen de seguridad del 15%, se obtiene un consumo calculado de energía en ca ( $C_{ca}$ , Wh/día) de:

$$C_{ca} = \frac{100 + MS}{\eta_i} T_2 = \frac{100 + 15}{92} 5.065 = 6.331 \text{ Wh/día}$$

Considerando una tensión nominal de la instalación ESF de 24 V, el consumo calculado de energía en ca alcanza el valor de 263,8 Ah/día. Por otro lado, teniendo en cuenta que las pérdidas de captación ascienden a 10%, el valor final del consumo calculado total de energía ( $E_T$ , Ah/día) es de 290,18 Ah/día.

El siguiente paso es analizar la cantidad de energía producida por un módulo fotovoltaico mes a mes ( $G_T$ , Ah/día), valores que se incluye en la Tabla III.1. Para ello, se necesita el número de horas de sol pico (HSP) de cada mes, el cual se multiplica por la intensidad pico  $I_p$  (A) del módulo seleccionado.

El número de módulos a conectar en serie ( $N_s$ ) se calculará dividiendo la tensión nominal de la instalación fotovoltaica ( $V_n$ , V) entre la tensión pico del módulo ( $V_p$ , V):

$$N_s = \frac{V_n}{V_p} = \frac{24}{25,9} \cong 1$$

Por su parte, conocido el consumo calculado total de energía ( $E_T$ , Ah/día) y la energía producida por un módulo ( $G_T$ , Ah/día), se puede determinar el número de módulos fotovoltaicos en paralelo dividiendo ambas magnitudes. Obviamente, el número de módulos necesarios es diferente mes a mes, por lo que hay que llegar a una situación de compromiso realizando un balance déficit-superávit. No se debe perder de vista que se está realizando un dimensionado suponiendo las peores condiciones posibles, y que



todas las cargas estén consumiendo energía de forma simultánea, por lo que si hay algún mes donde el balance sea negativo, es decir, que la energía demandada es mayor que la producida, no debe preocupar si esta diferencia no es demasiado grande. Por otro lado, este balance se hace sin tener en cuenta que se está almacenando energía en las baterías para aquellas situaciones en las que la energía producida por los módulos no sea la suficiente para hacer frente a la demanda energética. En el caso que nos ocupa, se consideran 12 módulos en paralelo, obteniendo un balance déficit-superávit incluido en la Tabla III.1. Como se observa, el balance con 12 módulos es adecuado, ya que sólo durante 3 meses al año el sistema ESF no es capaz de producir la totalidad diaria de energía eléctrica necesaria.

Con todo, el número total de módulos será de 12, ya que éste es el número de los que se han de conectar en paralelo, mientras que sólo se necesita uno en serie.

Respecto al dimensionado del sistema de acumulación, comentar que las baterías estacionarias son las más adecuadas para los usos fotovoltaicos, debido a su larga vida y a su excepcional capacidad de funcionamiento en regímenes de carga y descarga lentas. Por otro lado, la principal ventaja de los acumuladores compuestos por elementos independientes es la facilidad de sustitución de los mismos en caso de avería, así como una mayor capacidad de reserva de electrolito, lo que se traduce en la necesidad de un bajo mantenimiento. Por su parte, las baterías monobloc ocupan muy poco espacio, se instalan rápidamente y, al mismo tiempo, son muy robustas y compactas. En cuanto a la diferencia entre las baterías estacionarias translúcidas y transparentes, se limita al aspecto del recipiente, sin afectar a las características de funcionamiento.

Para determinar el número de baterías se parte de los días de autonomía (4 días) y de la profundidad de descarga de las mismas, que en este caso asciende a un 70%. Conocidos estos valores, junto con el consumo calculado total de energía ( $E_T$ , Ah/día), se calcula la capacidad nominal de las baterías ( $C$ , Ah):

$$C = \frac{100 \cdot E_T \cdot D}{PD} = \frac{100 \cdot 290,18 \cdot 4}{70} = 1.658,17 \text{ Ah}$$

Seleccionando una batería de 12 V y una capacidad de 314 Ah, se necesitarán 2 baterías en serie y 5 en paralelo, lo que supone un total de 10 baterías.

Para determinar el regulador se necesita conocer el número de módulos fotovoltaicos en paralelo ( $N_p$ ) y la intensidad pico de un módulo ( $I_p$ , A), obteniendo como valor de la intensidad del regulador ( $I_r$ , A) el siguiente:

$$I_r = 1,2 \cdot N_p \cdot I_p = 1,2 \cdot 12 \cdot 7,72 = 111,17 \text{ A}$$

Se seleccionará un regulador comercial de 125 A y 24 V.

El convertidor se selecciona calculando su potencia. Para ello, se necesita conocer la potencia de los equipos que funcionan en corriente alterna ( $P_{ca}$ , W) junto con el rendimiento del convertidor. En el presente ejemplo, con un rendimiento del convertidor del 92%, la potencia necesaria del convertidor ( $P_i$ , W) es:

$$P_i = \frac{100 \cdot P_{ca}}{\eta_i} = \frac{100 \cdot 2.963}{92} = 3.221 \text{ W}$$

El convertido seleccionado es uno comercial de 3.300 W.

Para finalizar, se realiza el análisis sobre la viabilidad económica de la instalación ESF. Para ello se han considerado los siguientes costes:

- Módulos fotovoltaicos = 19.200 €.
- Bastidor de los módulos = 4.800 €.
- Baterías = 15.290 €.
- Regulador de carga = 2.400 €.
- Inversor = 2.000 €.
- Cableado = 1.000 €.
- Proyecto e instalación = 2.000 €.

Con todo, la inversión bruta sería de 46.690 €. No obstante, esta instalación puede ser objeto de una subvención del 50% de la inversión, según se establece para la Comunidad Autónoma de Castilla y

León en las convocatorias de subvenciones públicas para actuaciones de ESF, en el marco del Plan Solar de Castilla y León. Así, la instalación que nos ocupa se acogería a la línea subvencionable ESF 1 (Instalaciones fotovoltaicas con acumulación), para las que el coste subvencionable (caso de beneficiario no empresarial) es del 50%. Por ello, la inversión neta ascendería a 23.345 €.

El generador de gasóleo, con una potencia de 28 kW, consume diariamente (5 h/día de operación) 140 kWh.

Considerando un precio del gasóleo estimado en 10 c€/kWh, se tiene un coste diario de 14 € y un coste anual de 5.110 €. Teniendo en cuenta la inversión neta de 23.345 €, ésta se amortizaría en 4,5 años, mientras que si no se solicitan subvenciones, el período de retorno simple de la inversión de 46.690 € sería de 9 años. Estos valores nos indican que la inversión se amortiza en la primera mitad de la vida útil de la instalación.

**Tabla III.1. Valores medios mensuales de diferentes variables relacionadas con el comportamiento de la instalación ESF proyectada: I, irradiancia solar media diaria sobre el plano de los módulos fotovoltaicos (plano inclinado 40°), Wh/(m<sup>2</sup>·día); HSP, horas de sol pico, h; G<sub>T</sub>, cantidad de energía producida por un módulo ESF, Ah/día; GT-12, cantidad de energía producida por 12 módulos ESF, Ah/día; D-S<sub>12</sub>, balance déficit-superávit de energía eléctrica consumida-producida por 12 módulos ESF, Ah/día**

Meses	E	F	M	A	MY	J	JL	A	S	O	N	D
I	2,874	3,389	5,305	5,174	5,699	6,164	6,437	6,359	5,728	4,532	3,088	2,141
HSP	2,9	3,4	5,3	5,2	5,7	6,2	6,4	6,4	5,7	4,5	3,1	2,1
G <sub>T</sub>	22,39	26,25	40,92	40,14	44,00	47,86	49,41	44,41	44,00	34,74	23,16	16,21
GT- <sub>12</sub>	268,68	315	491,04	481,68	528	574,32	592,92	592,92	528	416,88	277,92	194,52
D-S <sub>12</sub>	-21,50	24,82	200,86	191,50	237,82	284,14	302,74	302,74	237,82	126,7	-12,26	-95,66

# REGLAS CLAVE

## Para el ahorro y la eficiencia energética en instalaciones ganaderas

### ASPECTOS GENERALES

- ✓ Optimizar los consumos de energía y mejorar la eficiencia energética en las instalaciones pecuarias se traduce directamente en menores costes energéticos y en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- ✓ Los sistemas de climatización deben de estar correctamente dimensionados teniendo en cuenta las características climáticas de la zona donde se encuentran las naves, las condiciones deseadas en el interior de las mismas (función de la especie y el manejo animal, con el objetivo de mejorar el desarrollo, la productividad, la sanidad y el bienestar de los animales), las características de la construcción y de los sistemas de climatización.
- ✓ El conocimiento de la dinámica energética de los alojamientos es importante para identificar puntos críticos y subsanarlos a través de la utilización correcta de técnicas de acondicionamiento ambiental.
- ✓ Se recomienda la utilización de sistemas de regulación y de control automático que dispongan de algoritmos de control basados en el ahorro de energía.
- ✓ Proceder con la calibración de los sensores y el ajuste periódico de los sistemas de control climáticos. Los sensores deben estar localizados en las zonas de ocupación de los animales.
- ✓ La formación del personal técnico es esencial para conocer cómo funcionan los sistemas de acondicionamiento ambiental y las formas de ahorrar energía con ellos.
- ✓ Llevar a cabo la revisión y mantenimiento preventivo de todos los dispositivos, como una más de las tareas que deben realizarse en la explotación.

### ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

- ✓ Un buen aislamiento y la correcta estanqueidad de los edificios son muy importantes para obtener las condiciones de confort animal, reducir los consumos de energía y mejorar el rendimiento de los equipos de climatización.
- ✓ Las medidas de ahorro energético que se suelen implementar cuando son analizados los aspectos constructivos de las explotaciones son: aumento del nivel de aislamiento de la cubierta (por donde se produce la mayor parte de las pérdidas de energía), las paredes y las puertas, sellado de puertas y ventanas para evitar infiltraciones, y protecciones de sombreado para evitar el sobrecalentamiento debido a la incidencia de la radiación solar durante los meses de verano.

### SISTEMAS DE CLIMATIZACIÓN

- ✓ En invierno se deben ventilar las naves con el caudal mínimo necesario para el correcto control de los gases, de modo que se reduzca en lo posible el volumen de aire frío introducido en el interior de los alojamientos.
- ✓ Seleccionar sistemas de calefacción localizados, ya que son más eficientes.
- ✓ Zonificar la nave y regular térmicamente de forma independiente cada zona.
- ✓ Aislar térmicamente los tubos/conductos de distribución del aire o agua caliente fuera de los espacios calefactados, con el objetivo de evitar pérdidas de calor en el transporte.



- ✓ Emplear calderas correctamente aisladas, con quemadores de funcionamiento regulado o fraccionado, y sistemas de recuperación del calor de los gases de escape (calderas de alto rendimiento).
- ✓ El cálculo de los caudales de ventilación y de las necesidades de refrigeración deben resultar de un estudio detallado, y estar basado en las condiciones climáticas de la zona, en la especie animal y en las características constructivas de los alojamientos y de los equipos de climatización existentes.
- ✓ En los sistemas de refrigeración mediante paneles evaporativos hay que garantizar que la entrada del aire se realiza a través de los paneles, y no por huecos o aberturas que puedan existir en las construcciones.
- ✓ Siempre que con la ventilación natural se puedan obtener las condiciones ambientales adecuadas en el interior de los alojamientos, será preferible al empleo de la refrigeración activa, por no necesitar de energía para operar.
- ✓ Emplear motores eléctricos de alto rendimiento y/o utilizar reguladores de velocidad en los equipos que funcionan a régimen variable, con objeto de poder reducir su consumo eléctrico.
- ✓ Orientar correctamente las construcciones y disponer elementos cortavientos permiten evitar la exposición de las edificaciones a los vientos dominantes que provocan grandes pérdidas de calor.
- ✓ Propiciar el ahorro de energía en las instalaciones de ordeño y enfriamiento de la leche mediante el empleo de intercambiadores de placas con agua fría, y la ubicación del condensador del equipo de refrigeración en el exterior del alojamiento. En este caso, la eficiencia energética del sistema puede aumentar aprovechando el calor cedido por el condensador para calentar el agua de uso en la explotación.
- ✓ Fomentar el empleo de calderas de biomasa o alimentadas con biocombustibles en aplicaciones de calefacción.
- ✓ En instalaciones no electrificadas, evaluar la viabilidad técnica y económica de introducir sistemas solares fotovoltaicos.

## OTRAS INSTALACIONES

- ✓ Sustituir las lámparas incandescentes por lámparas de descarga en gases.
- ✓ Aprovechar al máximo la iluminación natural, mantener limpios los locales y pintar los paramentos interiores de colores claros permiten alcanzar los niveles de iluminación adecuados con menor número de puntos de luz y menor número de horas de funcionamiento de los mismos.
- ✓ En instalaciones con un consumo relevante de agua caliente sanitaria, evaluar la viabilidad técnica y económica de introducir sistemas solares térmicos de baja temperatura.
- ✓ Disponer los campos de captadores, tanto de energía solar térmica como de solar fotovoltaica, con la orientación y la inclinación más próximas posibles a los valores idóneos, y alejados de obstáculos que produzcan sombras.

# Bibliografía

- AEDIE. “Manual de Auditorías Energéticas”. Ed. Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid, Madrid. 2003.
- ADENE. “Informe final del Proyecto PIGS (Proyecto Integrado para la Gestión de Porcinoculturas, Programa LIFE-AMBIENTE)”. 2003.
- ALBRIGHT, L.D. “Environmental Control for Animals and Plants”. Ed. ASAE, St Joseph, Michigan. 1990.
- ALONSO, M. “Sistemas Fotovoltaicos: Introducción al Diseño y Dimensionado de Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica”. Ed. Era Solar, Madrid. 2005.
- ASAE. “Design of ventilation systems for poultry and livestock shelters”. ASAE Standard EP270.5 FEB03. Ed. ASAE, St Joseph, Michigan. 2003.
- BAPTISTA, F.J. y MENESES, J.F. “Ventilação natural de instalações pecuárias”. Revista Portuguesa de Zootecnia, 2: 71-95. 1997.
- BRUCE, J.M. “Natural ventilation. Its role and application in the bio-climatic system”. Farm Building R & D Studies, 8: 1-8. 1977.
- BUXADÉ, C. y TORRES, M. “Vacuno de Leche de Alta Producción (VLAP). Sus alojamientos e instalaciones”. Ed. Euroganadería, Madrid. 2009.
- CAP. “Recomendações de bem-estar animal”. [http://www.dgv.min-agricultura.pt/bem\\_estar\\_animal/RecomendacoesBemEstar.htm](http://www.dgv.min-agricultura.pt/bem_estar_animal/RecomendacoesBemEstar.htm). 2006.
- COLLARES-PEREIRA, M. “Energias Renováveis, a Opção Inadiável”. Ed. SPES – Sociedade Portuguesa de Energia Solar, Lisboa. 1998.
- CURTIS, S.E. “Perception of thermal comfort by farm animals. In: Farm Animal Welfare and Housing”. Baxter S.H., Baxter M.R. y MacCormack J.A.C. (eds). Ed. Martinus Nijhoff, The Hague. 1983.
- DEFRA. “Code of Recommendations for the Welfare of Livestock: Pigs”. Ed. Defra publications. 2003.
- DUFFIE, J.A. y BECKMAN, W.A. “Solar Engineering of Thermal Processes”. Ed. John Wiley & Sons, New Jersey. 2006.

- EOI. “Manual de Eficiencia Energética”. Ed. Unión Fenosa, Madrid. 2008.
- EREN. “Energía Solar Fotovoltaica. Manual del Arquitecto”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002a.
- EREN. “Energía Solar Fotovoltaica. Manual del Instalador”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002b.
- EREN. “Energía Solar Fotovoltaica. Manual del Proyectista”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002c.
- EREN. “Energía Solar Térmica. Manual del Arquitecto”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002d.
- EREN. “Energía Solar Térmica. Manual del Instalador”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002e.
- EREN. “Energía Solar Térmica. Manual del Mantenedor”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002f.
- EREN. “Energía Solar Térmica. Manual del Proyectista”. Ed. Junta Castilla y León, León. 2002g.
- EREN. “Plan de Asistencia Energética en el Sector Cárnico”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2008a.
- EREN. “Plan de Asistencia Energética en el Sector Lácteo Lechero”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2008b.
- EREN. “Plan de Asistencia Energética en el Sector Madera”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2008c.
- EREN. “Plan de Asistencia Energética en el Sector Piensos”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2008d.
- EREN. “Mejoras Horizontales de Ahorro y Eficiencia Energética en el Sector Industrial: Energía Eléctrica”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2009a.
- EREN. “Mejoras Horizontales de Ahorro y Eficiencia Energética en el Sector Industrial: Energía Térmica”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2009b.
- EREN. “Manual de Procedimiento para la Realización de Auditorías Energéticas en Edificios. Tomo 1”. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2009c.
- EREN. “Manual de Procedimiento para la Realización de Auditorías Energéticas en Edificios”. Tomo 2. Ed. Junta de Castilla y León, León. 2009d.
- ESQUERRA, P. “Dispositivos y Sistemas de Ahorro de Energía”. Ed. Marcombo, Barcelona. 1988.
- FAWC. “Assessment of Egg Production system”. Ed. FAWC, Tolworth, Surrey. 1985.
- FORCADA, F., BABOT, D., VIDAL, A. y BUXADÉ, C. “Ganado Porcino. Diseño de alojamientos e instalaciones”. Ed. Server, Barcelona. 2009.
- FREITAS, P. y MARQUES, I.P. “Biogas in Portugal: Attainable production from wastewaters and municipal solid wastes. Bioenergy: Challenges and Opportunities”. International Conference and Exhibition on Bioenergy, Guimarães, Portugal. 2008.
- GARCÍA-VAQUERO, E. “Projecto e construção de alojamento para animais”. Ed. Litexa Portugal, Lisboa. 1987.
- GEERS, R., RANDALL, J.M., BATTAMS, V.A. y HUYBRECHTS, W. “Providing environmental control in all-in all-out rooms for finishing pigs”. Farm Buildings & Engineering, 4: 27-30. 1984.
- GONÇALVES, M.S. “Gestão de Resíduos Orgânicos”. Ed. Sociedade Portuguesa de Inovação, Lisboa. 2005.
- HINKLE, C.N. y STOMBAUGH, D.P. “Quantity of air flow for livestock ventilation. In: Ventilation of Agricultural Structures”. Ed. ASAE, St Joseph, Michigan. 1983.
- IDAE. “Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas”. Ed. IDAE, Madrid. 2005.
- IDAE. “Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos”. Ed. IDAE, Madrid. 2008a.
- IDAE. “Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorriá.” Ed. IDAE, Madrid. 2008b.



- IEA. “*World Energy Outlook 2004*”. Ed. IEA – International Energy Agency, Paris. 2004.
- LE DIVIDICH, J. y HERPIN, P. “*Environmental temperature requirement of the weaned piglet*”. Proceedings of the 43rd Annual Meeting of the European Association for Animal Production, Madrid. 1992.
- LUQUE, A. “*Energía Solar Fotovoltaica*”. Ed. Marcombo Boixareu, Barcelona. 1983.
- MÉNDEZ, J.M. y CUERVO, R. “*Energía Solar Térmica*”. Ed. Fundación Confemetal, Madrid. 2008.
- ORTEGA, M. “*Energías Renovables*”. Ed. Paraninfo, Madrid. 1999.
- PEDERSON, S. y SALVIK, K. “*Animal Housing in Hot Climates. A multidisciplinary view. Part I*”. Workshop of CIGR Section II. Naas I., Moura D. (eds). 2006.
- PERALES, T. “*Guía del Instalador de Energías Renovables: Energía Fotovoltaica, Energía Térmica, Energía Eólica y Climatización*”. Ed. Creaciones Copyright, Madrid. 2005.
- PINTO, F., GULYURTLU, I., JOYCE, A., MARQUES, I.P., RODRIGUES, C. y VIANA, S. “*Capítulo VII: Acções para o desenvolvimento das energias renováveis. In: As Energias Renováveis em ambos os lados da Fronteira*”. Madrid. 2008.
- QI, X., ZHANG, S., WANG, Y. y WANG, R. “*Advantages of the integrated pig-biogas-vegetable greenhouse system in North China*”. *Ecological Engineering*, 24: 177-185. 2005.
- RANDALL, J.M. “*Selection of piggery ventilation systems and penning layouts based on the cooling effects of air speed and temperature*”. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 25: 169-187. 1980.
- RANDALL, J.M. “*Ventilation and temperature control in pig production*”. Proceedings of Congresso Internacional de Zootécnia, Universidade de Évora, Portugal. 1991.
- REY, F.J. y VELASCO, E. “*Eficiencia Energética en Edificios. Certificación y Auditorías Energéticas*”. Ed. Thomson, Madrid. 2006.
- SANCHIS, P. “*Energía Solar Fotovoltaica: Ingeniería de los Sistemas Fotovoltaicos*”. Ed. Ulzama, Pamplona. 2004.
- SCOTT, N.R., DESHAZER, J.A. y ROLLER, W.L. “*Effects of the thermal and gaseous environment on livestock. In: Ventilation of Agricultural Structures*”. Ed. ASAE, St Joseph, Michigan. 1983.
- TRICASE, C. y LOMBARDI, M. “*State of the art and prospects of Italian biogas production from animal sewage: Technical-economic considerations*”. *Renewable Energy*, 34(3): 477-485. 2008.
- VERSTEGEN, M.W.A., SIEGERINK, A., HEL, W., GEERS, R. y BRANDSMA, C. “*Operant supplementary heating in groups of growing pigs in relation to air velocity*”. *Journal of Thermal Biology*, 12: 257-261. 1987.
- WHATES, C.M. y CHARLES, D.R. “*Livestock Housing*”. Ed. CAB International, London. 1994.
- XIAOHUA, J. y SHANGYUND, J. “*The influence of using biogas digesters on family energy consumption and its economic benefit in rural areas. Comparative study between Lianshui and Guichi in China*”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11: 1018-1024. 2007.
- ZHOU, S.Y., ZHANG, B. y CAI, Z.F. “*Energy analysis of a farm biogas project in China: A biophysical perspective of agricultural ecological engineering*”. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 15: 1408-1418. 2010.

Títulos publicados de la serie  
*Ahorro y Eficiencia Energética  
en la Agricultura:*

---

Nº Especial: *Consumos Energéticos en las Operaciones Agrícolas en España.* 2005

Tríptico promocional: *Medidas de Ahorro y Eficiencia Energética en la Agricultura.* 2005

Nº 1: *Ahorro de Combustible en el Tractor Agrícola.* 2005

Nº 2: *Ahorro y Eficiencia Energética en Agricultura de Regadío.* 2005

Nº 3: *Ahorro y Eficiencia Energética en Instalaciones Ganaderas.* 2005

Nº 4: *Ahorro, Eficiencia Energética y Sistemas de Laboreo Agrícola.* 2006

Nº 5: *Ahorro, Eficiencia Energética y Estructura de la Explotación Agrícola.* 2006

Nº 6: *Ahorro, Eficiencia Energética y Fertilización Nitrogenada.* 2007

Nº 7: *Ahorro y Eficiencia Energética en Invernaderos.* 2008

Nº 8: *Protocolo de Auditoría Energética en Invernaderos. Auditoría energética de un invernadero para cultivo de flor cortada en Mendigorriá.* 2008

Nº 9: *Ahorro y Eficiencia Energética en las Comunidades de Regantes.* 2008

Nº 10: *Protocolo de Auditoría Energética en Comunidades de Regantes.* 2008

Nº 11: *Ahorro y Eficiencia Energética en los Cultivos Energéticos y Agricultura.* 2009

Nº 12: *Ahorro y Eficiencia Energética con Agricultura de Conservación.* 2009

Nº 13: *Ahorro y Eficiencia Energética en Buques de Pesca.* 2009

Nº 14: *Auditorías Energéticas en Instalaciones Ganaderas. Parte 1: Manual para la realización de auditorías energéticas en instalaciones ganaderas.* 2010





**IDAE** Instituto para la  
Diversificación y  
Ahorro de la Energía

c/ Madera, 8 - 28004 Madrid  
Tel.: 91 456 49 00. Fax: 91 523 04 14  
comunicacion@idae.es  
www.idae.es



P.V.P.: 8 € (IVA incluido)