

# Trabajo Fin de Máster

Master Universitario en Energías Renovables y Eficiencia Energética

Caracterización y análisis del consumo y potencial de ahorro  
energético de sectores Industriales en España

Autor

**Eduardo Alcalde Germán**

Director

**Ignacio Zabalza Bribian**

Escuela de Ingeniería y Arquitectura. Universidad de Zaragoza

Año Académico 2012-2013



## RESUMEN

El sector industrial en España es responsable del 30,2 % del consumo de energía final, cuyo alto grado de atomización y de heterogeneidad de las instalaciones en que se demanda dificultan la definición de estrategias específicas de reducción del consumo de energía.

La adecuada clasificación de las empresas que forman el sector industrial que permita determinar y describir los procesos y sistemas energéticos más influyentes que definen su consumo de energía, son la base para desarrollar un estudio de caracterización y análisis energético por sectores industriales que posibilite evaluar el potencial de ahorro energético presente en las diferentes industrias de dichos sectores, así como conocer las oportunidades de mejorar la eficiencia energética a través de medidas de ahorro energético de mayor interés por su alta replicabilidad en su implantación y el volumen de ahorro que estas representan. Esta información resulta de especial interés ya que permite establecer las acciones a desarrollar para reducir la intensidad energética del sector industrial en España, permitiendo posicionar a la industria de nuestro país en un escalafón de mayor competitividad, contribuyendo a un impacto socioeconómico a través del asentamiento del tejido industrial y la creación de empleo. Uno de los potenciales interesados en este tipo de estudios es el mercado de servicios energéticos cuyo desarrollo se está intentando potenciar en España y que requiere conocer las características de las industrias y sus procesos con el fin de saber su potencial de negocio y las medidas de ahorro energético a ofrecer para diversificar el riesgo al tiempo que ofrecen una amplia gama de servicios.

Actualmente, la información que se posee de los sectores industriales es difusa en función de la temática de los datos buscados y se encuentra sesgada por su carácter disperso y privado. En el campo de la investigación, ciertos investigadores han abordado estudios sobre el consumo de energía de sectores industriales, siendo menos los estudios detectados para el caso de España, entre los que destaca el análisis de cuatro sectores industriales (“Industria Química”, “Alimentación, Bebida y Tabaco”, “Textil” y “Producción de Minerales no Metálicos”) a través de su caracterización energética. A partir de dicho estudio se plantea el presente trabajo fin de master en el ámbito de la investigación, para el cual se ha seguido la metodología que sus autores presentan, en este caso aplicada a caracterizar tres sectores industriales en España de los cuales no se han encontrado investigaciones científicas previas de este ámbito con el objetivo de analizar los niveles de consumo por fuentes energéticas y eficiencia en el uso de recursos energéticos en estos tres sectores e identificar una lista justificada de medidas de ahorro energético. El estudio se ha basado en a) clasificar las empresas a estudio a través de su código CNAE-2009 correspondiente a la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009) publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE), b) la búsqueda bibliográfica del Estado del Arte de las instalaciones y tecnologías existentes en el tejido industrial de cada clasificación en tres ámbitos Energía, Actividad y Estadísticas, c) balance de la situación actual en busca de los elementos comunes que definen el comportamiento de cada sector, y que permiten establecer para el conjunto las características de sus procesos y equipos, las fuentes energéticas demandadas y sus usos, los indicadores energéticos que los definen y la lista priorizada de medidas de ahorro energético de mayor aplicación a todo el sector. Como casos de estudio, esta metodología ha sido aplicada a los sectores Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01), Cuero y Calzado (CNAE 15), e Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16) permitiendo identificar la existencia de un potencial de ahorro considerable en todos los sectores y subsectores que alcanza aproximadamente el 20-25 % del total de energía final consumida.

## AGRADECIMIENTOS

A M<sup>a</sup> Pilar y Paula por su apoyo, comprensión y las horas robadas de su compañía para la realización del presente trabajo de investigación. Gracias

## **INDICE**

<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>6</b>
<b>1 INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>7</b>
1.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	9
1.2 OBJETIVOS Y ALCANCE .....	9
1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....	9
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....	9
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	10
1.4 CONTENIDO DE LA MEMORIA.....	10
<b>2 ESTADO DEL ARTE .....</b>	<b>11</b>
2.1 CONTEXTO ENERGÉTICO DEL SECTOR INDUSTRIAL EN ESPAÑA .....	11
2.2 ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL .....	14
2.3 METODOLOGÍAS DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE SECTORES .....	17
2.4 MECANISMOS DE IDENTIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DEL POTENCIAL DE AHORRO ENERGÉTICO EN SECTORES INDUSTRIALES.....	17
<b>3 METODOLOGÍA.....</b>	<b>19</b>
3.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SECTORES INDUSTRIALES.....	20
3.2 FUENTES DE INFORMACIÓN DE LOS CNAE ANALIZADOS .....	21
3.3 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS Y EQUIPOS INVOLUCRADOS EN CADA SECTOR.....	22
3.4 ANÁLISIS DEL CONSUMO DE ENERGÍA POR SECTOR.....	22
3.5 ANÁLISIS DEL CONSUMO ESPECÍFICO POR SECTOR .....	23
3.6 IDENTIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO EN CADA SECTOR.....	23
<b>4 CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>24</b>
4.1 AGRICULTURA, GANADERÍA Y CAZA (CNAE 01).....	24
4.2 CUERO Y CALZADO (CNAE 15) .....	27
4.3 INDUSTRIA DE LA MADERA Y DEL CORCHO (CNAE 16) .....	32
<b>5 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>40</b>
<b>6 BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>42</b>
<b>7 ANEXOS.....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación de los sectores industriales según CNAE-2009. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).	20
<b>Tabla 2:</b> Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 1. Fuente: Elaboración propia.	26
<b>Tabla 3:</b> Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 15. Fuente: Elaboración propia.	31
<b>Tabla 4:</b> Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 16. Fuente: Elaboración propia.	38
<b>Tabla 5:</b> Cuestionario de caracterización energética de las industrias participantes.	46
<b>Tabla 6:</b> Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones agrícolas	48
<b>Tabla 7:</b> Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones ganaderas	49
<b>Tabla 8:</b> Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones de la industria de fabricación de muebles de madera.	51
<b>Tabla 9:</b> Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones de la industria de fabricación del calzado.	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Indicador de intensidad energética del sector industrial para países Europeos en el periodo 1990-2011. Fuente: IDAE	8
<b>Figura 2.</b> Evolución porcentual del Indicador de intensidad energética total y por sectores en España para el periodo 2000-2010. Fuente: IDAE	12
<b>Figura 3.</b> Esquema de desarrollo de la metodología de caracterización Energética. Fuente: Elaboración Propia.	19
<b>Figura 4.</b> Diagrama de flujo del proceso de curtidumbre y Diagrama Sankey de desglose del consumo de electricidad en una empresa de curtidumbre. Fuente: Elaboración Propia.	29
<b>Figura 5.</b> Diagrama de flujo del proceso de fabricación de calzado. Fuente: Elaboración Propia.	30
<b>Figura 6.</b> Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.1. Fuente: Elaboración Propia.	34
<b>Figura 7.</b> Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.2. Fuente: Elaboración Propia.	35
<b>Figura 8.</b> Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.2 para el caso de tableros de fibras. Fuente: Elaboración Propia.	36
<b>Figura 9.</b> Estructura de las parcelas de la explotación.	48
<b>Figura 10.</b> Estructura de las parcelas de la explotación.	50
<b>Figura 11.</b> Detalle del sistema de calefacción de naves e imagen termográfica de la salida de humos por chimenea.	52

## 1 INTRODUCCIÓN

Estudios realizados por diferentes centros e instituciones coinciden en afirmar que el actual modelo energético mundial, y en especial el de los países desarrollados entre los que se sitúa España, es insostenible en términos económicos, sociales y medioambientales [1]. Las estrategias políticas en el sector energético deben de centrar sus esfuerzos en la liberalización energética [2], la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>, la promoción de las Energías Renovables y la reducción de la intensidad energética a través del fomento de la Eficiencia Energética [3]. Con una población mundial superior a los 9.000 millones de personas hará falta una inversión, muy acertada y bien coordinada, de magnitud sin precedentes para acomodar a mediados de siglo, un nivel de vida digno sin agotar los recursos del planeta.

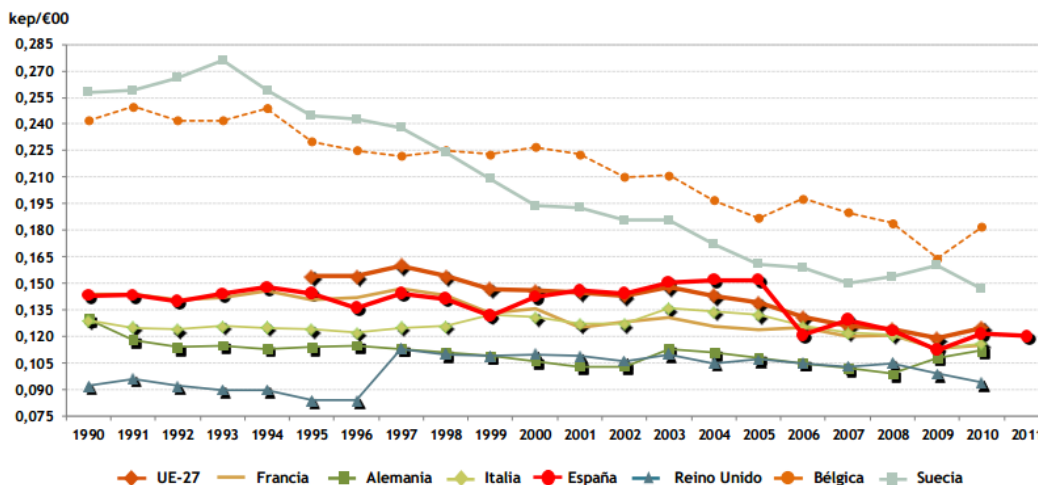
Según se extrae de las estadísticas energéticas a nivel mundial publicadas por la Agencia Internacional de la Energía [4] en el año 2012 el sector industrial fue responsable del 28 % del consumo de energía primaria. En este sentido y desde una perspectiva económica, los países necesitan potenciar este sector como uno de los pilares donde sustentar su crecimiento económico a la vez que deben de moderar el consumo de energía controlando sus emisiones. Ante esta situación, la mejor alternativa pasa por aumentar sustancialmente la eficiencia de nuestras economías, es decir, por un fomento del ahorro de energía [5]. Ernst Ulrich von Weizsäcker en su libro Factor 5 ya describe la idea de mejorar tecnológicamente la sostenibilidad de los productos industriales, mediante la optimización de la productividad de la energía, los materiales y el agua en el proceso de producción.

La eficiencia energética está reconocida comúnmente como una opción clave en manos de los que diseñan las políticas. Sin embargo, los esfuerzos actuales se quedan cortos para explotar todo el potencial económico de esta opción. En el último año, países con alto consumo de energía han anunciado nuevas medidas: China tiene como objetivo reducir un 16% la intensidad energética para 2015; Estados Unidos ha adoptado nuevas normas para el ahorro de combustible; la Unión Europea se ha comprometido a recortar un 20% su demanda energética de 2020; y Japón pretende hacer disminuir un 10% el consumo de electricidad de aquí a 2030.

En un ámbito más cercano, España se caracteriza por una elevada dependencia energética, un bajo índice de eficiencia energética, y dificultad para cumplir con las obligaciones internacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

El sector industrial ha sido tradicionalmente el mayor consumidor de energía final en España, siendo relegado en los últimos años a la segunda posición por el sector transporte, y representando actualmente el 30 % según datos publicados por el Instituto de Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) en su informe correspondiente al plan de Ahorro y Eficiencia 2011-2020 [6]. Concretamente, el consumo de energía final en el sector industrial Español se ha visto reducido en un 40 % en el periodo 2004-2011. Estos datos deben de ser tomados con cierta precaución ya que no son un total reflejo del aumento de la eficiencia energética en el sector industrial, al estar altamente ligados a la disminución de la actividad productiva. La figura 1 recoge la evolución de la intensidad energética en España y en Europa, expresada como consumo de energía primaria por unidad de Producto Interior Bruto (PIB) desde 1990. El indicador de intensidad energética es aceptado internacionalmente puesto que relaciona los consumos energéticos con la riqueza generada (PIB) de un país [7, 8].

### COMPARATIVA EUROPEA DE LA INTENSIDAD ENERGÉTICA DEL SECTOR INDUSTRIAL



**Figura 1.** Indicador de intensidad energética del sector industrial para países Europeos en el periodo 1990-2011. Fuente: IDAE

A partir de la figura 1, se puede observar como España se ha situado tradicionalmente con valores superiores a los de principales países Europeos con una tendencia al alza viendo aumentado su nivel de intensidad energética hasta el año 2005. Los valores obtenidos a partir de entonces muestran una línea de mejora traducida en una disminución del 20 % para este año que se ha mantenido sin excesivas variaciones hasta la fecha, destacando el aumento sufrido en el año 2010. Este dato concuerda con los esfuerzos y políticas energéticas en España como es la Estrategia de Eficiencia Energética Española (E4) 2004-2012 [9], aunque sin embargo en la actualidad España se sitúa con valores superiores a los de países como Alemania, Francia o Reino Unido.

Bajo los datos mostrados, se comprueba como uno de los mecanismos de mejora de la economía en España está basado la reducción de la intensidad energética del país siendo uno de los sectores de consumo con mayor porcentaje de participación el sector industrial. Un aumento en el índice de eficiencia energética en el sector industrial es esencial para permitir aumentar la competitividad de las empresas Españolas que a su vez deben de servir de motor para impulsar la actividad económica del país y favorecer la creación de empleo. En este sentido, uno de los potenciales mercados para este sector corresponde al de los servicios energéticos cuyo desarrollo se encuentra más implantado en países como EE.UU. y que resulta muy interesante en los países de Europa. Las empresas que actúan en esos mercados tienen la necesidad de conocer las características de las empresas y sus procesos con el fin de saber su potencial de negocio y las medidas de ahorro energético a ofrecer para diversificar el negocio y el riesgo al tiempo que ofrecen una amplia gama de servicios, cuya cúspide llegue la gestión energética integral, incluyendo el suministro de energía, mantenimiento, corrección, aplicación, seguimiento, la explotación y la optimización del uso de energía en una compañía.

En este contexto, el presente proyecto se centra en la caracterización energética de tres sectores industriales en España, que según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas del año 2009 publicada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) [10] corresponde a Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01), Cuero y Calzado (CNAE 15), e



Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16), por haberse detectado la falta de investigaciones científico-técnicas previas en este campo y como se ha justificado a lo largo de los párrafos anteriores ser un pilar estratégico para la reducción de la intensidad energética que sitúe a la industria Española en mejores circunstancias competitivas a la vez que posibilite un impacto socioeconómico a través del conocimiento del sector industrial permitiendo la potenciación del mercado de servicios energéticos y la generación de empleo.

## 1.1 Antecedentes del proyecto

El presente trabajo forma parte de una de las líneas de investigación del Área de Eficiencia Energética de la Fundación CIRCE en el marco de proyectos de Caracterización Energética de sectores tanto de instituciones públicas como clientes privados, en donde destacan proyectos como IEE SAVE AGE “Análisis de las Estrategias de Eficiencia Energética en Residencias de Ancianos” (Número de Referencia - IEE/09/676/SI2.558233), IEE PINE “Promoción de las estrategias de Eficiencia Energética en las PYMES Industriales” (Número de Referencia - IEE/11/885/SI2.615936), o la Caracterización Energética de sectores industriales para clientes de Gas Natural Fenosa.

## 1.2 Objetivos y Alcance

### 1.2.1 Objetivo general

El objetivo general del presente proyecto es caracterizar y analizar los niveles de consumo por fuentes energéticas y eficiencia en el uso de recursos energéticos en tres de los sectores industriales en España según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009) [10]. Los sectores concretos a estudiar son Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01), Cuero y Calzado (CNAE 15), e Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16).

### 1.2.2 Objetivos específicos

Para abordar el objetivo general se propone los siguientes objetivos específicos:

- Caracterización de la situación energética actual de los sectores a estudio
  - o Identificación del consumo energético industrial por actividades económicas, sectores y subsectores.
  - o Determinación de los principales equipos y usos energéticos de las empresas que integran cada sector.
  - o Obtener los ratios de eficiencia energética e índices de consumos energéticos para cada sector.
- Análisis del consumo y potencial de ahorro de los principales sistemas energéticos
  - o Identificación de tecnologías eficientes y posibles aplicaciones en los distintos sectores de la industria.

- o Creación de un listado de medidas de ahorro energético de alta replicabilidad en empresas del sector.
- o Analizar las relaciones entre los costes y los beneficios de las diferentes oportunidades dentro del contexto financiero y gerencial, para poder priorizar su implementación.

### 1.3 Justificación

La información obtenida de un estudio de caracterización es considerada de gran utilidad a fin de proponer estrategias que permitan mejorar los aspectos que tienen mayor incidencia en el desarrollo de las actividades productivas de las empresas permitiéndoles ser más competitivas a través de la reducción de sus costes energéticos. Como se ha expuesto en el apartado 1 de Introducción de la presente memoria, varios autores han identificado la necesidad de realizar mayores esfuerzos en la explotación del potencial de ahorro energético a través del fomento de la eficiencia energética en el sector industrial [3, 5].

En el caso de España, el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 aprobado por Acuerdo de Consejo de Ministros de 29 de julio de 2011 [6] establece un objetivo de mejora de la intensidad final del 2% interanual en el periodo 2010-2020 para el conjunto de España. Para ello, en términos absolutos, en el sector industrial se plantea un ahorro de 4.489 ktep lo que representa un ahorro equivalente al 25 % del total de consumo de energía final en España y que entre los años 2007 y 2020 disminuirá el consumo final del sector industrial en un 13 %.

El conocimiento de los procesos y equipos implicados de forma transversal en los sectores industriales, la desagregación del consumo de energía por fuentes energéticas, la determinación de los usos significativos de consumo energético, las tecnologías actuales de aumento de los niveles de eficiencia energética, la disminución de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sobretodo la planificación de Medidas de Ahorro Energético que permitan alcanzar los objetivos propuestos, justifican la realización del presente proyecto de investigación.

### 1.4 Contenido de la memoria

Para la consecución de los objetivos planteados, la memoria se estructura en los siguientes capítulos: en el capítulo 2 se realiza una revisión bibliográfica del estado del arte de la metodología de caracterización de sectores industriales, su aplicación a procesos concretos y las conclusiones establecidas. Además, se analiza las principales fuentes bibliográficas de obtención de datos relativos a consumos de energía por sectores industriales y mejores técnicas disponibles para el aumento de la eficiencia energética. En el capítulo 3 se presenta el desarrollo la metodología propuesta. El capítulo 4 está dedicado a la aplicación de la metodología desarrollada a los sectores estudiados en el proyecto y la presentación y el análisis de los resultados obtenidos y finalmente el capítulo 5 muestran las principales discusiones y conclusiones del proyecto, además, se proponen líneas de trabajo que pueden dar origen a trabajos futuros.

## 2 ESTADO DEL ARTE

En el capítulo 1 se ha descrito de forma resumida el contexto sobre el cual se ha desarrollado el Proyecto. En este capítulo se realiza una revisión bibliográfica general sobre el estado del arte donde se enmarca el presente proyecto. Para ello, se ha abordado a nivel Español la situación energética del sector industrial, su peso en el consumo de energía total demanda, su evolución y desarrollo en relación a la intensidad energética, permitiendo identificar los modelos de tendencia y los retos a los que la industria se enfrenta en este campo. Dentro de este contexto, posteriormente se ha realizado la revisión bibliográfica sobre las diferentes técnicas de análisis de sectores que permitan la caracterización en referencia a sus consumos de energía, así como los mecanismos para cuantificar potenciales de ahorro energético extrapolables al conjunto de industrias de un mismo sector o subsector. Por último, se ha realizado la revisión bibliográfica de ámbito científico y técnico para detectar las medidas de ahorro energético aplicables a cada uno de los sectores estudiados de forma específica, así como las medidas de carácter general que permiten una implantación en el conjunto de empresas.

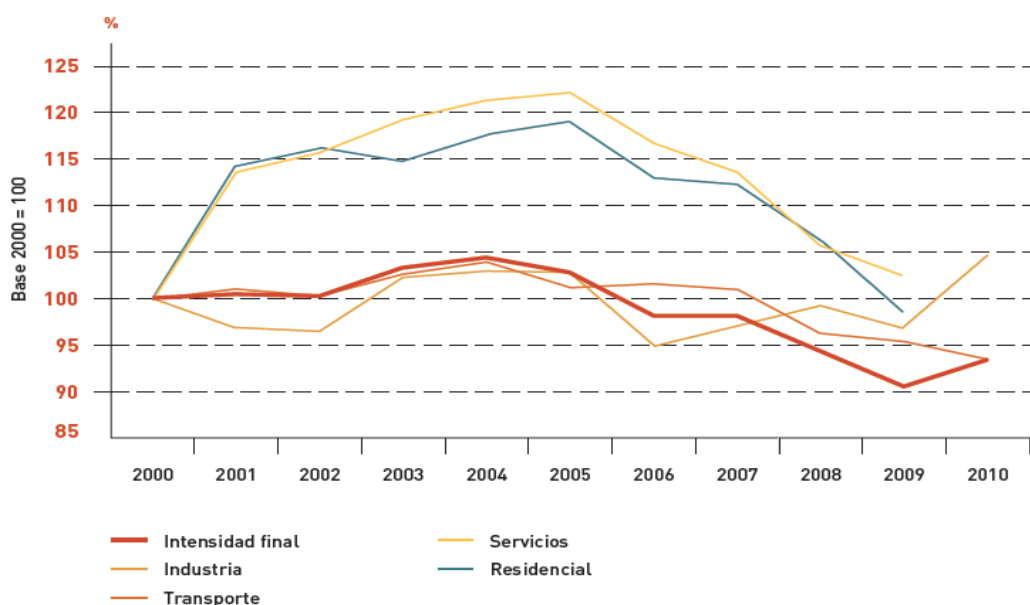
### 2.1 Contexto energético del sector industrial en España

El total de consumo energético de un país se denomina demanda de energía primaria y se define como la cantidad total de recursos energéticos consumidos para cualquier uso, ya sea directamente o para la transformación en otra forma de energía (en electricidad por ejemplo). En España, según datos de la Secretaría de Estado y Energía del Ministerio de Industria, Energía y Turismo en su boletín de coyuntura energética 2012 [11] el consumo de energía primaria ha registrado un aumento entre los años 1990 y 2008 del 58%, llegando a el valor máximo de 147.235 ktep en el año 2007, a partir del cual se produce un punto de inflexión con una disminución del 3,5 y 8% para los años 2008 y 2009 respectivamente hasta alcanzar para el año 2012 128.316 ktep, lo que supone una disminución acumulada del 13,3 % debido al crecimiento de la economía española en la década pasada, hasta el comienzo de la crisis económica en el año 2008. Además, España se caracteriza por una elevada dependencia energética respecto al exterior que sigue siendo muy alta, superior al 84% según el Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España en su informe del año 2012 [12], muy por encima de la media europea, por lo que prácticamente la totalidad de esta Energía Primaria es importada del exterior lo que repercute en una mayor inseguridad de abastecimiento y unos mayores costes.

La distribución por sectores del consumo energético se desagrega en Transporte, Industria, Residencial, Servicios y Agricultura. Atendiendo a la distribución sectorial de la demanda, según datos del Ministerio de Industria, Energía y Turismo en su boletín de coyuntura energética del año 2012 [11] el sector transporte es el mayor consumidor, con el 39,3% del consumo final total, principalmente, basado en productos petrolíferos, lo que, en gran parte, determina la elevada dependencia energética nacional. Le sigue la industria, con un 30,2% del consumo, y posteriormente los sectores de usos diversos, entre los que destacan, con creciente protagonismo, el sector residencial y el de servicios. Esta distribución

porcentual no ha sufrido variaciones significativas en los últimos 20 años, por lo que es un fiel reflejo del estado de distribución del consumo de energía en España.

Desde la perspectiva de Eficiencia Energética, estos datos deben de ser comparados con el valor generado fruto de ese consumo de energía. Para ello, como ya se ha nombrado en el capítulo 1 de Introducción, el indicador utilizado a nivel internacional es el de Intensidad Energética, medido como el consumo energético por unidad de riqueza generada medida a través del Producto Interior Bruto del país (PIB). En este sentido, a diferencia del resto de Europa que ha mejorado de media un 14% desde 1990, España presenta una tendencia ascendente hasta el año 2005 (debido a que el crecimiento económico estaba acompañado de un crecimiento superior del consumo energético), año a partir del cual se aprecia una cierta mejora invertida en el año 2010 según se comprueba en la figura 2. La comparación de este indicador a nivel europeo presenta unos valores superiores a la media europea, lo que evidencia una mayor ineficiencia de la industria española en el uso de la energía. En el año 2011 como muestra el informe del Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España [12] tanto España como la UE consiguieron reducir el valor de este indicador pero mientras el nivel para España se quedó por encima de 6.100 GJ por millón de Euros, para la UE este valor está por debajo de los 5.300 GJ por millón de Euros. En el periodo entre los años 2000 y 2011, en la UE- 15 la intensidad energética bajó el 17 % mientras que en España bajó solamente el 8 %. Los datos indicados pueden comprobarse en la figura nº 2 donde se muestra el gráfico de evolución de las intensidades final y sectorial en España para el periodo comprendido entre el año 2000 y 2010.



**Figura 2.** Evolución porcentual del Indicador de intensidad energética total y por sectores en España para el periodo 2000-2010. Fuente: IDAE

Asimismo, a pesar de la menor relevancia en el consumo de energía total, la intensidad energética de los sectores integrados dentro de los Usos Diversos (Residencial y Servicios) ha disminuido significativamente. No obstante, aunque prácticamente todos los sectores comparten como denominador común la tendencia a la mejora de las intensidades

asociadas, cabe destacar como en los últimos años se ha producido un repunte de la intensidad energética en el sector industrial.

En un análisis exhaustivo del sector Industrial, según el Instituto Nacional de Estadística-Directorio Central de Empresas 2013 [13], el conjunto de la industria española está formado por un total de 206.585 empresas, de cuales únicamente el 8 % posee 20 o más asalariados. Por intervalos de antigüedad el 36,5 % tiene más de 10 años, lo que en la mayoría de los casos repercute en la obsolescencia de sus equipos instalados. Según publica el INE en su Encuesta de Consumos Energéticos[14], el consumo energético total de la industria en España alcanzó los 21.094 ktep en el año 2011, lo que supuso un coste energético de 11.337 millones de euros, un 17,1% más que en 2009. Los principales productos energéticos utilizados por las empresas industriales fueron la electricidad (51,7%), el gas (28,3%) y los productos petrolíferos (13,6%). Desde 2001, primer año de realización de la encuesta, la electricidad siempre ha sido el principal producto energético en cuanto a consumo, con porcentajes que han oscilado entre el 48% y 54% del total.

Por porcentaje de consumo dentro del sector industrial en España, el boletín de coyuntura energética del primer trimestre de 2012 publicado por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo [11] muestra que el mayor porcentaje correspondió al sector minerales no metálicos (21,6%), seguido del sector químico (14,7%), la siderurgia y fundición (14,4%). Es importante reseñar que estos tres sectores suman más de la mitad del consumo energético de la Industria en España. En la literatura científica para el caso Español, ya se han analizado, a través de la caracterización energética [15], los sectores correspondientes a la industria química, alimentación, bebidas y tabaco, textil y minerales no metálicos que representan el 48 % del consumo total de energía, detectándose una falta de investigaciones científicas de este estilo para el 52 % restante. En cuanto a los sectores analizados en el presente estudio (Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01), Cuero y Calzado (CNAE 15), e Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16) estos representan un 7,1 % del total.

Para obtener la perspectiva y evolución de los costes energéticos asociados al consumo de energía de los sectores industriales, se ha realizado la búsqueda bibliográfica del contexto de precios para las fuentes energéticas más demandadas en la industria, así como la posición que España presenta respecto a las economías del conjunto de Europa. En el año 2012, según los datos publicados por la Comisión Europea en su apartado de estadísticas de precios de electricidad y gas natural pertenecientes a la sección de “Statistical Office of the European Communities-EUROSTAT” [16], el precio de la electricidad en España para un consumo industrial medio de entre 500 y 3.000 MWh fue de 12 cent€/kWh (incluidos impuestos). Este dato únicamente es superado por el precio de la electricidad en Italia (19,9 cent€), Alemania (13 cent€), Hungría (12,4 cent€) e Irlanda (14 cent€), Chipre (23,4 cent€), Malta (18 cent€) y Eslovaquia (12,7 cent€). Esto tiene unos efectos muy considerables en el coste de producción, dado que la electricidad puede representar en algunos casos un porcentaje mayor que, por ejemplo, los costes laborales. Además, la tendencia de la UE-27 en general es de aumento del precio de la electricidad para este sector, habiendo aumentado de media un 5,8 % en el último año, siendo el aumento del 3,4 % en el caso de la industria en España. En el caso del otro consumo de energía predominante en la industria como es el Gas Natural, en el año 2012 el precio fue de 3,8 cent€/kWh (incluidos impuestos), situando el precio en la media de los países europeos EU-27 que se sitúa en 4,0 cent€/kWh (incluidos impuestos). La tendencia, al igual que en el caso de la electricidad, es de aumento

en el conjunto de países Europeos (7%) en el último año, habiéndose incrementado un 12 % en el caso de España.

Es preciso no olvidar que la energía es uno de los factores determinantes de la competitividad de las empresas, especialmente en aquellos sectores industriales para los que la electricidad no es un mero servicio, sino una materia prima fundamental en su proceso productivo. Presentado el estado del arte del contexto energético en cuanto a consumos y costes del sector industrial, estos hacen necesario un análisis de las políticas de sostenibilidad de los modelos energéticos en su contexto Internacional y su traducción al caso del Estado Español que permita identificar las fortalezas y debilidades que están poseen para la consecución de objetivos de reducción del consumo de energía en el sector industrial.

## 2.2 Estrategias energéticas en el sector industrial

Consciente de la nueva realidad con que se encuentra Europa en cuanto a la energía, la Comisión Europea definió en enero de 2007 una nueva revisión de la política energética (Action Plan for Energy Efficiency: Realising the potencial) [17], con la que se pretendió que la UE se convirtiera en referente mundial para el desarrollo de una economía de baja intensidad en carbono, promoviendo el uso limpio y eficiente de la energía, reforzando a la vez el mercado interior y apoyando la investigación y desarrollo en este campo. Este documento se puede decir que sienta las bases de las políticas energéticas en Europa y que los estados miembros deben de cumplir a través de la transposición de la legislación a su ámbito estatal. El objetivo del plan de acción es controlar y reducir la demanda de energía, así como actuar de forma selectiva en relación con el consumo y el abastecimiento de energía, a fin de conseguir ahorrar un 20 % del consumo anual de energía primaria de aquí a 2020 (con respecto a las previsiones de consumo energético para 2020). Este objetivo corresponde a la realización de un ahorro de alrededor del 1,5 % al año hasta 2020. La Comisión ya plantea que para alcanzar un ahorro de energía significativo y duradero es necesario, por una parte, desarrollar técnicas, productos y servicios eficientes desde el punto de vista energético y, por otra parte, modificar los comportamientos para consumir menos energía y conservar, al mismo tiempo, la misma calidad de vida. La Comisión considera que el ahorro de energía más importante corresponde a los sectores siguientes: edificios de viviendas y comerciales (sector terciario), con un potencial de reducción estimado del 27 % y del 30 % respectivamente; la industria manufacturera, con un potencial de ahorro en torno al 25 %, y el sector de los transportes, con una reducción estimada del consumo del 26 %.

Estas reducciones sectoriales del consumo de energía representan un ahorro global estimado de 390 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) cada año, es decir, 100.000 millones de euros al año de aquí a 2020. Además, permitirían reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 780 millones de toneladas al año. Dentro del sector Industrial se cita que el plan de acción ayudará a reforzar la competitividad industrial, a desarrollar las exportaciones de nuevas tecnologías y tendrá efectos positivos para el empleo. Además, los ahorros realizados compensarán las inversiones efectuadas en las tecnologías innovadoras. Las medidas elegidas por la Comisión y presentadas en el plan de acción son las más rentables, es decir, aquellas cuyo ciclo de vida tiene un menor coste ambiental, sin exceder a las inversiones previstas en materia de energía. Se trata de medidas de ahorro generalizadas por



sectores de consumo y están muy centradas en la reducción del consumo energético en los ámbitos de la edificación y el transporte, pero son menos específicas en el sector industrial.

De forma paralela a la Comisión Europea, en 2006 el economista Nicholas Stern en su informe Stern [18] analiza el impacto del cambio climático y el calentamiento global en la economía mundial donde muestra que la inacción y no llevar a cabo políticas de reducción de la intensidad energética que permitan reducir la emisiones de CO<sub>2</sub>, tendría unos costes para la economía mundial que pueden oscilar entre el 5 y el 20 % del PIB mundial.

Posteriormente, la Unión Europea, en su Comunicación de 23 de enero de 2008 [19] de la Comisión al Parlamento Europeo COM (2008) “Dos veces 20 para el 2020: El cambio climático, una oportunidad para Europa”, propone que, para prevenir que el cambio climático alcance niveles peligrosos, la UE asuma tres compromisos importantes para el año 2020:

- Reducir sus propias emisiones en al menos el 20% respecto a los niveles del 2005.
- Ahorro energético del 20% respecto del consumo del año 2005.
- Triplicar la participación de las energías renovables en el consumo de energía primaria, desde el 7% actual al 20% en 2020. Aumentar la participación de biocarburantes en el consumo de transporte hasta al menos el 10% en el 2020.

Como parte integrante del paquete de medidas propuesto por la Comisión en su revisión de la política energética comunitaria, el 22 de noviembre de 2007 la Comisión presentó el Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (Plan EETE) “Hacia un futuro con baja emisión de carbón” [20], acompañado del documento “A European Strategic Energy Technology Plan (SET-PLAN)”[21]. Este documento de referencia describe la situación actual de la tecnología energética y de las capacidades de la investigación energética en Europa y persigue dos objetivos generales: reducir el coste de la energía no contaminante y situar la industria de la UE en la vanguardia del sector de las tecnologías que permiten reducir las emisiones de carbono.

En la actualidad, la UE toma como referencia para la eficiencia y el ahorro la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 [22]. Este marco incluye, entre otros, un objetivo orientativo de ahorro de energía aplicable a los Estados miembros, y obligaciones para las autoridades públicas en materia de ahorro de energía y contratación con criterios de eficiencia energética, así como medidas de promoción de la eficiencia energética y los servicios energéticos. En concreto para el sector industrial establece que las grandes empresas tendrán que someterse cada cuatro años a una auditoría energética.

En el escenario de nuevas políticas, estas medidas contribuyen a acelerar el progreso significativamente lento registrado en la última década en materia de eficiencia energética a nivel mundial. Al respecto, autores como Helm, D en su artículo de investigación sobre “El marco europeo de las políticas de energía y cambio climático” [23] concluye que la Unión Europea debe de abordar de forma urgente reformas de las políticas energéticas y de cambio climático que permitan reducir el notable aumento de precios y la competitividad de empresas ante el actual contexto de crisis económica y de salida de países del marco del Protocolo de Kyoto, siendo uno de los objetivos marcados la potenciación del mercado de la Eficiencia Energética a través de subvencionar la incorporación de nuevas tecnologías que permitan desarrollar su implantación. Por otro lado, una de las principales conclusiones establecidas en el IV Seminario Atlántico de Energía y Económica Ambiental sobre los

fundamentos económicos y los efectos de políticas energéticas y ambientales del año 2010 [24], muestra la necesidad de elaborar políticas que fomenten grandes inversiones a largo plazo en I + D para el control de emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre (GEI). Sin embargo, incluso con la implantación de estas y otras medidas, una parte significativa del potencial de mejora de la eficiencia energética (cuatro quintos en el sector de edificios y más de la mitad en la industria) sigue sin explotar [4]. Al respecto Ghaddar and Mezher (1999) [25] muestran que implementando medidas de bajo coste, el sector industrial podría reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero entre (GEI), un 10 y un 30 %.

En el anterior contexto Europeo, los modelos actuales de planificación energética en los distintos sectores energéticos españoles son el resultado del seguimiento de las directrices europeas, así como de los sucesivos cambios en la normativa estatal que ha ido evolucionando adecuándose a nuestras características y necesidades. En 2003 el Consejo de Ministros aprobó la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España (E4) [9] para el periodo 2004 – 2012 que incluye medidas para las Administraciones y para diversos sectores (productivos, consumidores...) y cuyo objetivo es contribuir al desarrollo sostenible, pero no incluía actuaciones concretas. En 2005 el Consejo de Ministros aprobó el Plan de Acción 2005 – 2007 de Ahorro y Eficiencia Energética (PAE4+) [26], que en materia de eficiencia energética en el sector industrial incluía la realización de auditorías energéticas y programas de ayudas públicas a proyectos empresariales de eficiencia energética. En 2008 el Plan de Acción 2008 – 2012 de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética [27] consta de 31 medidas, el cual fue reforzado en 2011 con el Plan de Intensificación del Ahorro y la Eficiencia Energética, con 20 medidas adicionales.

En ellos, se concluye para el caso industrial que una vez analizado el potencial del sector en relación al ahorro las medidas a aplicar son: acuerdos voluntarios, auditorías energéticas y un extenso programa de ayudas públicas que activen las inversiones. Además, se propone una medida legislativa de amplio alcance, pues señala que todo proyecto de inversión conlleve un análisis energético (ACV) que seleccione la tecnología disponible más eficiente energéticamente. Actualmente, la estrategia de eficiencia energética en España queda definida a partir del Plan de ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020 [6], donde se establecen las medidas de Ahorro energético del plan de acción. Las líneas de acción propuestas son para el sector industrial Auditoría Energéticas, Mejora de la tecnología de equipos y procesos (Mejores Técnicas Disponibles –MTD o sus siglas en inglés BAT) y la implantación de sistemas de gestión energética, sin llegar a definir de una forma más exhaustiva cada una de ellas. Con estas medidas, se pretende alcanzar un ahorro de 4.996 ktep en 2020, este potencial de ahorro se establece principalmente a través de la incorporación de las MTD al cual se le atribuye un 93 % del potencial de ahorro identificado, el 7 % restante recae sobre los sistemas de gestión energética, siendo el principal papel de las auditorías energéticas el de servir de herramienta de detección y evaluación de las tecnologías y equipos que mejor se adecuan a cada tipo de industria e instalación.

En definitiva, en materia de eficiencia energética la normativa introduce evaluaciones de los potenciales de ahorro y metas a alcanzar sin entrar de forma específica en los mecanismos y acciones concretas para su obtención. Forma parte de los gobiernos trasponer al ámbito nacional dichos requisitos a través de acciones concretas que en el caso español se centran principalmente en el ámbito de la edificación (residencial y terciario) pero que en el caso de la industria se adolece de una legislación específica en parte por su carácter privado y



dificultad en definir una estrategia por su elevada heterogeneidad. Este hecho, sumado al descenso de la demanda energética del sector, no del nivel de intensidad, plantea un escenario que, ralentiza los objetivos de las actuales planificaciones nacionales.

## 2.3 Metodologías de caracterización energética de sectores

En su contexto generalizado, las metodologías de caracterización sectorial se basan en una investigación conocida como descriptivo-analítica, que permite realizar la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los sectores estudiados y la composición de los fenómenos de sus procesos productivos, permitiendo establecer las características principales y las múltiples interrelaciones de los sectores estudiados determinando aquellos atributos peculiares que presenta la población estudiada y que por tanto la distingue claramente del resto de su clase [28]. Son los estudios descriptivos los que generan aportes para la posterior intervención e implantación de los resultados obtenidos pues están basados en la elaboración de un marco de estudio a partir del cual se deduce una problemática formulando un diagnóstico con el fin de conocer carencias esenciales y sugerir una acción posterior [29], en el caso del presente proyecto la implantación de medidas de ahorro energético.

La aplicación de las caracterizaciones al contexto energético ha sido tratada por diversos investigadores en distintos sectores y países [30-33] en donde los autores realizan una descomposición de los sectores que pretenden analizar en subsectores que permitan describir de una forma más precisa sus características. La aplicación concreta a la caracterización energética de sectores industriales posee menos investigaciones asociadas encontrándose en la literatura científica el análisis de sectores industriales de países como Brasil, Israel o Malasia [34-36] y destacando en el caso de España la caracterización de cuatro sectores (alimentación y bebidas, textil, químico y minerales no metálicos) realizada por Aranda. A, et al [15] que representan el 48 % del consumo total de la industria en España, no habiendo detectado estudios científicos de análisis para el 52 % restante.

Las metodologías de análisis propuestas se basan en todos los casos en la caracterización del sector o sectores teniendo en cuenta los siguientes aspectos: a) Agrupación de las industrias por sectores, b) recopilación y análisis de información a través de cuestionarios y auditorías energéticas, c) análisis del consumo y uso energético por aplicaciones, d) identificación del potencial de ahorro energético a través de indicadores, e) Estimación del potencial de ahorro energético a través de la incorporación de nuevas tecnologías.

## 2.4 Mecanismos de identificación y cuantificación del potencial de ahorro energético en sectores industriales

Existen diferentes fuentes de información bibliográfica para la identificación de medidas de ahorro energético aplicables al sector industrial. Una de ellas son las Mejores Técnicas Disponibles (MTD) [37] que pueden definirse como aquellas tecnologías utilizadas en una instalación junto con la forma en que la instalación esté diseñada, construida, mantenida, explotada y paralizada, y siempre que sean las más eficaces para alcanzar un alto nivel de protección del medio ambiente en su conjunto y que puedan ser aplicadas en condiciones

económica y técnicamente viables. Los documentos que recogen estas MTD en el ámbito europeo son los denominados documentos BREF (BAT References Documents) o Documentos de Referencia sobre las MTD, hay 33 aprobados ya por la Comisión Europea de los cuales son de interés para el presente proyecto: el Documento de Referencia de Mejores técnicas disponibles en el sector de cueros y pieles [38], el Documento de Referencia de Mejores técnicas disponibles en explotaciones intensivas de animales [39], y el Documento de Referencia de Mejores técnicas disponibles en sector Textil [40].

Por otro lado, para los sectores industriales a estudio, se han identificado investigadores que han descrito las medidas aplicables en diferentes países y que deben de ser tomadas con precaución para el caso Español por sus diferentes tecnologías y características, como el estudio de las medidas aplicables al sector de la madera en Escandinavia, [41], el sector ganadero en Estados Unidos [42] y el sector del cuero en Turquía [43].

Los documentos anteriores muestran una revisión de las técnicas para mejorar el rendimiento energético principalmente de procesos. Además de esta información de ámbito científico, existen numerosos documentos que describen las medidas de ahorro y eficiencia energética aplicables a los equipos y sistemas auxiliares más comunes en el ámbito industrial. Fabricantes de referencia como Philips, Atlas Copco, Roca, Scheider electric, ABB, Circutor han sido consultados para el desarrollo del presente proyecto, ya que poseen información sobre las aplicaciones de sus productos a la mejora de la eficiencia energética en sistemas como la iluminación, aire comprimido, sistemas de climatización, motores eléctricos, variadores de velocidad, baterías de condensadores, etc. Además, en muchos casos ponen a disposición de los usuarios programas de cálculo del potencial de ahorro energético tales como (ESAVER, PUMP SAVE, ECO8, SISVAR, etc.

Por último, entidades de ámbito privado como Gas Natural Fenosa poseen documentos propios de análisis del potencial de ahorro de industrias, como la publicación “Hacia una empresa baja en Carbono” [44] basado en las experiencias de sus clientes donde se pueden encontrar ejemplos de implantaciones de medidas de ahorro energético. Así mismo en el ámbito público, destacan el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de Energía) y el Ministerio de Industria, Energía y Turismo. El primero de ellos posee en su apartado de publicaciones numerosos documentos como guías de Ahorro y Eficiencia energética en diferentes sectores y aplicaciones. El segundo, además de ser fuente de información de las normas aplicables, posee la información oficial sobre la coyuntura energética en España.

### 3 METODOLOGÍA

A continuación, se presenta el desarrollo de la metodología seguida para la caracterización y análisis del consumo y potencial de ahorro energético de sectores industriales en España. La metodología propuesta en el presente proyecto se basa en el procedimiento presentado por Aranda, A. et al [15] que establece el análisis energético a través de la realización de Auditorías Energéticas en instalaciones de los sectores a estudio así como la obtención de información complementaria. La metodología se ha desarrollado a través de diferentes fases como se puede observar en la figura 3, donde se puede apreciar la relación secuencial de los flujos de análisis de cada una de las fases y su carácter descriptivo.



**Figura 3.** Esquema de desarrollo de la metodología de caracterización Energética.  
Fuente: Elaboración Propia.

A continuación se describen de forma detallada las actividades desarrolladas, así como las fuentes bibliográficas consultadas para el desarrollo de la metodología planteada y aplicada al presente proyecto.

### 3.1 Clasificación de los sectores industriales

Las actividades desarrolladas en el sector industrial poseen un alto grado de heterogeneidad lo que dificulta un estudio de caracterización. Para posibilitar la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los sectores estudiados y la composición de los fenómenos de sus procesos productivos, permitiendo establecer las características principales y las múltiples interrelaciones de los procesos implicados se ha partido de la Clasificación Nacional de Actividades Económicas en su versión del año 2009 (CNAE-2009) [10]. Diversos autores como Aranda, A. et al y Saidur, R. et al [15, 33] parten de una clasificación de industrias por actividades lo que permite agregar empresas según las similitudes de las actividades y procesos desarrolladas y que son la base de la clasificación del estudio de caracterización industrial. La tabla 1 muestra la clasificación de los sectores estudiados en el presente proyecto. Los CNAE de actividad que comprenden actividades diversas han sido desagregados en grupos que comprenden los subsectores en que estos se dividen con el fin de analizar de una forma más específica cada sector.

División	Grupo	Descripción
01		<b>Agricultura, ganadería, caza y servicios relacionados con las mismas</b>
	01.1	Cultivos no perennes
	01.2	Cultivos perennes
	01.3	Propagación de plantas
	01.4	Producción ganadera
	01.5	Producción agrícola combinada con la producción ganadera
	01.6	Actividades de apoyo a la agricultura, a la ganadería y de preparación posterior a la cosecha
	01.7	Caza, captura de animales y servicios relacionados con las mismas
15		<b>Industria del cuero y del calzado</b>
	15.1	Preparación, curtido y acabado del cuero; fabricación de artículos de marroquinería, viaje y de guarnicionería y talabartería; preparación y teñido de pieles
	15.2	Fabricación de calzado
16		<b>Industria de la madera y del corcho, cestería y espartería</b>
	16.1	Aserrado y cepillado de la madera
	16.2	Fabricación de productos de madera, corcho, cestería y espartería
	16.3	Fabricación de muebles

**Tabla 1:** Clasificación de los sectores industriales según CNAE-2009. Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE).

### 3.2 Fuentes de información de los CNAE analizados

Los datos para el análisis de procesos, equipos, actividades y estadísticas relacionados con los sectores estudiados se han obtenido de distintas fuentes basadas en los documentos identificados en la revisión del capítulo 2 Estado del Arte y que se han clasificado según a) documentos sectoriales y de las asociaciones y estamentos específicos que hacen referencia a consumos de energía [3-5, 11, 12, 16] entre otros, b) documentos de estadísticas sectoriales para la industria en España [10, 13, 14, 45] y c) documentos de identificación de medidas de ahorro energético [34-44] de los sectores a estudio.

Por otro lado, los datos han sido ampliados y contrastados con estudios de análisis energético in situ en industrias representativas de los sectores estudiados, cuyas conclusiones se muestran en el Anexo I. Debido a su complejidad en cuanto a coste y tiempo de ejecución, únicamente se ha realizado una auditoría energética en detalle de cada uno de los sectores a estudio para una empresa representativa de cada sector de actividad.

Desde el punto de vista técnico la realización de las auditorías energéticas está basada en la norma UNE 216501[46], así como la UNE-EN 16247-1[47] que establecen los requisitos en la elaboración de auditorías energéticas, utilizándose los equipos técnicos adaptados a los requisitos de las mediciones a obtener.

Para el resto de empresas que forman la muestra de estudio de cada sector, su análisis está basado en un cuestionario de caracterización energética en formato electrónico (que puede consultarse en el Anexo II) enviado a los responsables de las instalaciones a través de correo electrónico. Para la elección de las empresas, como se justifica de los datos obtenidos en el capítulo 2 Estado del Arte, se han tomado industrias de tamaño medio ya que, por volumen son éstas las más representativas de los sectores, y es en las que se puede esperar un mayor ahorro energético porcentual y, como consecuencia, unas importantes ventajas socioeconómicas.

En este sentido, para realizar el estudio de cada sector en su conjunto, es necesario seleccionar una muestra de empresas a analizar para cada uno de los tres sectores industriales (o partes de los mismos), con objeto de poder extrapolar los resultados al total del correspondiente sector (o parte del mismo). No obstante, a partir de la extrapolación no puede afirmarse con certeza cómo es la población original debido a la variabilidad que hay de una a otra muestra, que depende de las características de la población. En cuanto al tamaño de la muestra, es muy difícil conocer a priori cuál es el valor adecuado, habiéndose utilizado para el presente estudio un total de 300 cuestionarios, lo que representa una cifra ligeramente inferior al 1 % del total de industrias que componen estos tres sectores (32.962), considerándose una muestra adecuada de acuerdo a los datos empleados en diferentes estudios de análisis energéticos [15, 33].

Cumpliendo siempre con los criterios de selección de tamaño medio, se han elegido aquellas empresas que por su predisposición a la colaboración permitían obtener datos verídicos y de la fiabilidad necesaria con un periodo de datos suficiente.

Tanto las auditorías como los cuestionarios son métodos que pueden ser usados para identificar y cuantificar las características energéticas de instalaciones, tal como muestran diversas publicaciones científicas encontradas en la literatura [36, 48].

Con la recopilación de datos a través de las fuentes descritas se ha obtenido la siguiente información:

- Identificación de las instalaciones, equipamiento, sistemas, procesos y materiales,

más comunes en las industrias de cada sector que afecten significativamente al uso y consumo de la energía.

- Identificación de los usos significativos de la energía.
- Fuentes de consumo de energía.
- Distribución de empresas por tamaño en función del número de trabajadores.
- Volumen de producción y/o de facturación.

### 3.3 Análisis de los procesos y equipos involucrados en cada sector

A través del análisis de la información recopilada, esta parte de la metodología persigue encontrar patrones de comportamiento generales que permitan extrapolar los datos al conjunto de empresas. Para este análisis, dependiendo de la complejidad del sector estudiado, los procesos se dividen en sub-procesos para presentar los resultados de una manera comprensible y permitir un mayor grado de detalle reduciendo la incertidumbre en los datos. La desagregación ha sido realizada en función de la fuente energética consumida diferenciando parte térmica y parte eléctrica.

Además de ello, conforme define la norma UNE 216501 de Requisitos de Auditorías Energéticas [46], para cada tipo de fuente energética considerada se ha realizado una nueva clasificación en función de corresponder a tecnologías involucradas con el proceso productivo o estar consideradas dentro de tecnologías horizontales, siendo estas empleadas para la generación y transformación de la energía entrante que se requiere por los procesos industriales y los servicios, tales como sistemas de aire comprimido, iluminación, calefacción, ventilación, etc.

### 3.4 Análisis del consumo de energía por sector

A partir de la información recopilada, se ha identificado las fuentes energéticas consumidas en cada sector y subsector en el nivel de desagregación que el rigor científico y la calidad de los datos lo ha permitido. Para ello, principalmente los datos se han basado en la información proporcionada por la Secretaría de Estado y Energía en su boletín de coyuntura energética del año 2012 [11]. Para su desglose por subsectores se ha utilizado los datos del Instituto Nacional de Estadística (INE) publicados en su Encuesta de Consumos Energéticos (ECE) del año 2012 [14]. La información se ha mostrado en forma de Diagramas de Sankey con la representación gráfica de los flujos de consumo de energía y de costes energéticos de cada sección o proceso productivo, a manera de franjas cuya anchura indica la cantidad representada y cuya dirección indica el destino final de dichos flujos.

### 3.5 Análisis del consumo específico por sector

A continuación, con el objetivo de medir la eficiencia productiva de los sectores, estos se han evaluado a través de la Teoría de la frontera de la producción [49]. Con ello, se pretende obtener el potencial teórico de mejora energética a través de su representación en indicadores que relacionen el consumo de energía y las unidades productivas.

Para ello, se han tenido en cuenta los inputs directos relacionados con la energía (electricidad, gas y otros combustibles) y su relación entre el output obtenido en cada caso que dependerá del sector a estudio. Los datos necesarios para su evaluación han sido tomados de la encuesta Industrial de Empresas año 2011 proporcionada a través del Instituto Nacional de Estadística (INE) [45]. Para estimar la frontera de la producción es necesario conocer las cantidades físicas de entradas y salidas, que son muy difíciles de obtener de diferentes sectores industriales que consisten en un gran número de industrias por lo que el indicador seleccionado en cada caso está ajustado a disponibilidad de los datos. La energía consumida por unidad de producto obtenido (“Specific Energy Use – SEU”) es considerada como una medida de la eficiencia energética de un sector [33] y puede ser expresada a través de la siguiente ecuación (1) :

$$SEU = \frac{\sum_i^N J_i E_{it}}{P_t} \quad (1)$$

Donde  $J_i$  es el número de unidades asociadas al consumo de energía  $i$ ,  $E_{it}$  es la cantidad de energía  $i$  consumida durante el periodo  $t$ ,  $N$  es el número de fuentes de energía y  $P_t$  la cantidad producida durante el periodo  $t$ .

### 3.6 Identificación de las medidas de ahorro energético en cada sector

A través de los datos obtenidos en la caracterización de procesos, equipos y su influencia en el consumo de energía global de los sectores se han definido las medidas de ahorro energético aplicables en cada caso con un mayor índice de replicabilidad clasificadas por el tipo de sistema al que se refieren. Estas medidas están basadas en la información específica obtenida de cada sector a través del estudio de los documentos que recogen las mejores técnicas disponibles (MTD) de los diferentes sectores industriales en el ámbito europeo englobados en los documentos BREF (Best available techniques Reference), así como revistas del sector energético, artículos de investigación y sitios web. Además de ello, las medidas de ahorro energético que lo permitan serán evaluadas a través de las herramientas disponibles por parte de los fabricantes de equipos de referencia para cada tecnología. Finalmente, con las medidas de ahorro energético identificadas se mostrará el potencial de ahorro por aplicaciones, tipo de fuente energética y/o sector en forma de rango porcentual respecto del total de consumo de energía.



## 4 CASOS DE ESTUDIO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01)

El sector de actividad recogido bajo el código CNAE 01 de “Agricultura, ganadería, caza” por sus diferencias ha sido analizado desde dos subsectores, agrícola y ganadero.

Los datos productivos muestran como en el caso del subsector agrícola, el principal producto son los cultivos forrajeros (31 %), seguido de cereales de grano (20 %) y hortalizas y patatas (16 %). En lo que se refiere a la producción en sector ganadero, el mayor porcentaje de producción de producción corresponde a leche de vaca (6.200 millones de litros al año), producción de huevos para consumo proveniente de gallinas camperas (1.000 millones de docenas de huevos) y el sacrificio de animales con casi 800 millones de piezas, representando el 84% de este reparto la carne de ave, donde el 85% de los animales son pollos de granja.

Una vez analizados los datos de producción de las dos principales actividades desarrolladas en el CNAE 01, se muestran los datos generales que afectan al consumo del sector del sector y que están influenciados por la tipología productiva en donde se muestran más intensivos. Los consumos de energía final en el sector suponen del orden del 3,31 % sobre el total de energía final en la industria.

Los procesos llevados a cabo en los dos principales grupos de actividad incluidos en este sector (agricultura y ganadería), son completamente diferentes, por lo que los equipamientos necesarios en ambos casos serán también diferentes para cada grupo.

Así, los equipos mecánicos más importantes en la actividad **agrícola** son el tractor, y los tipos de aperos o máquina utilizada para laboreo del suelo, abonado, siembra, labores de cultivo y tratamientos fitosanitarios, trabajos de recolección y transporte de producto agrícola. Todos ellos basan su funcionamiento en la energía proporcionada por el combustible utilizado, gasóleo, cuyo consumidor más significativo es el tractor, que representa el 75 % de consumo energético del sector (incluyendo el consumo derivado de los diferentes aperos), seguido de la cosechadora (25 %). Cabe destacar que el gasóleo consumido en agricultura no es fijo y depende de la actividad desarrollada y de cada explotación, siendo la máquina automotriz que más combustible consume es el tractor, los consumo de energía asociados a cada actividad desarrollada dependen del equipo utilizado y las características de su actividad como el número de cuerpos y la profundidad de laboreo. Por actividades desarrolladas destacan principalmente en el reparto del total de consumo de energía, la labranza (60 %), siembra (20 %) y el abono (10 %). Donde los consumos vienen dados por el estado del suelo, velocidades de trabajo, profundidad de la labor y textura del suelo que hacen que por el tipo de operación la labranza sea la más intensiva en el consumo de energía.

Como elemento transversal a la actividad, de forma generalizada en el sector existen amplias redes de distribución de agua que en este caso no pertenecen a una única empresa si no a una comunidad de regantes, cuya finalidad es conducir el agua desde los puntos de captación hasta las zonas de consumo, manteniendo unas condiciones de servicio adecuadas. En este caso el 75% de la demanda de energía en instalaciones de riego es cubierta por energía eléctrica, siendo los puntos críticos de consumo energético tanto las captaciones como en las estaciones de bombeo que suministran la presión necesaria a la red de distribución. En sistemas de riego por goteo, la presión necesaria en la entrada de las



parcelas suele oscilar entre 2,5-3 bares, mientras que en sistemas de riego por aspersión esta presión suele ser de 4 a 4,5 bares. Teniendo en cuenta la mayor necesidad de presión de los sistemas de aspersión, así como los mayores caudales de agua transportados, en general el consumo energético de un riego por aspersión puede ser entre un 10-20% superior al consumo del riego por goteo.

En el caso del consumo de energía asociado a la explotación de **ganadería** intensiva este se debe exclusivamente a los servicios auxiliares ya que por lo general no existen máquinas de proceso y ciertas fases no demandan ningún tipo de consumos de energía.

La cría intensiva incluye la gestión y el manejo de varias fases de producción con diferentes tipos de animales y necesidades, pudiéndose desarrollar el proceso productivo completo en una misma instalación (ciclo cerrado) o quedando restringido únicamente a ciertas fases de producción.

El tipo de consumo de energía está fuertemente ligado a su ubicación, normalmente alejada de los grandes centros de consumo lo que ocasiona que funcionen como centros aislados. El principal consumo de energía es electricidad, pudiendo representar incluso el 100 % del consumo energético en el caso de la utilización de sistemas de calefacción por hilo radiante. En los casos en los que no exista acceso al gas natural, los sistemas de calefacción se abastecen con diésel o fuel. Aunque con un menor porcentaje de participación, también cabe destacar la presencia de sistemas de generación energética a través de fuentes renovables como son la incorporación de energía solar fotovoltaica, eólica o la generación de biogás a través de los residuos de la explotación. Por otro lado, los usos principales de la energía son calefacción, ventilación/refrigeración e iluminación.

En la actividad de la ganadería es muy importante el confort del ganado para conseguir índices de productividad adecuados. Para ello, son necesarios los sistemas de calefacción y refrigeración con el objeto de obtener las temperaturas óptimas de producción por lo que la suma del sistema de calefacción, refrigeración y ventilación representa el mayor consumo de energía, en torno al 80 % del total. Las temperaturas recomendadas para los animales de las explotaciones varían, mostrándose las más intensivas en el consumo de energía aquellas que poseen cerdas lactantes por sus requisitos más exigentes en cuanto a temperaturas de confort y caudales de ventilación. El sistema de iluminación, en éste caso no tiene una gran relevancia debido a la poca potencia instalada y sus horas de funcionamiento. Por último, otro de los usos energéticos identificados corresponde a pequeños equipos de aire comprimido utilizados de forma esporádica principalmente para labores de limpieza por lo que su peso en el total de consumo de energía no es representativo como pueda ser en otro tipo de sectores industriales.

En base a los datos de caracterización del sector mostrados, la tabla 2 recoge las principales medidas de ahorro energético identificadas para las empresas correspondientes al CNAE 1 que permiten una mayor replicabilidad. Estas son mostradas como el porcentaje de ahorro de energía que suponen respecto del consumo de energía final que representa la aplicación a la que se refieren.

MEDIDAS IDENTIFICADAS			CNAE 1
Medidas de ahorro y potencial de mejora energética en subsector Agrícola	<b>AHORRO COMBUSTIBLE TRACTOR AGRÍCOLA</b>	1. Régimen del motor y relación de cambio	10 - 15%
		2. Adecuación y mantenimiento de los aperos	2 - 5%
		3. Neumáticos, doble tracción y reducción del patinamiento	5 - 8%
		4. Mantenimiento del motor	2 - 5%
		5. Optimización de rutas y creación de la parcelaria	10 - 15%
	<b>AHORRO ENERGÉTICO EN AGRICULTURA CONSERVACION</b>	6. Siembra directa	10-25%
		7. Mínimo laboreo	5-15%
		8. Cubierta vegetal en cultivos leñosos	5-10%
	<b>AHORRO ELECTRICO EN RIEGO</b>	9. Empleo de motores de alta eficiencia.	2- 8%
		10. Evitar sobredimensionamiento de bombeos	2 - 5%
		11. Automatización de las estaciones de bombeo y programa de mantenimiento	5 - 8%
		12. Variadores de velocidad y arrancadores estáticos	5 - 15%
	<b>AHORRO ENERGÉTICO EN FERTILIZACIÓN</b>	13. Mejoras en el uso de los fertilizantes y utilización de abonos naturales	5 - 8%
Medidas de ahorro y potencial de mejora energética en subsector Ganadero	<b>AHORRO ENERGÉTICO EN SISTEMAS HORIZONTALES EN GANADERÍA</b>	1. Utilización de ventiladores trifásicos frente a monofásicos y uso de variadores de velocidad	10 - 15%
		2. Sustitución de la fuente energética en el sistema de calefacción	15 - 20%
		3. Mejoras en la eficiencia de los sistemas de iluminación	15 - 20%
		4. Mejoras en el aislamiento de naves	5 - 8%
		5. Implantación de sistemas de refrigeración evaporativa	15 - 25%
	<b>MEDIDAS GENERALES</b>	6. Contabilidad energética	4 - 8%
		7. Automatización de procesos	5 - 10%
		8. Revisión y mantenimiento de equipos	1 - 3%

**Tabla 2:** Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 1. Fuente: Elaboración propia

En base al análisis anterior, se ha detectado como en este caso las principales medidas de eficiencia energética en el caso del sector agrícola están orientadas a la reducción del consumo de combustible, principalmente gasoil en equipos de proceso como es el tractor siendo posible reducir su consumo energético entre un 10-20 %. Además de ello, la aplicación de otras técnicas de laboreo complementarias a la tradicional menos intensivas en el consumo de energía permiten un ahorro elevado entre el 20-30 %.

En el caso de explotaciones ganaderas el principal potencial se centra en la reducción del consumo de energía en los equipos auxiliares, ya que se carece de equipos de proceso, estando el mayor potencial concentrado en los sistemas de acondicionamiento del confort de los animales (calefacción, refrigeración y ventilación) cuyo ahorro dependerá de la fuente energética utilizada, siendo en la mayoría de explotaciones estudiadas a través de los cuestionarios energéticos, la electricidad por lo que su potencial por la aplicación de estas medidas se cifra entre el 20-30 %.

## 4.2 Cuero y Calzado (CNAE 15)

El sector de actividad recogido bajo el código CNAE 15 de “Industria del cuero y del calzado” está dividido en dos ramas de actividad diferenciadas: CNAE 15.1 se dedica a la preparación, curtido y acabado del cuero y el CNAE 15.2, está dedicado a la fabricación de calzado. En global está integrado por alrededor de 3.900 empresas, suponiendo un 2,5% de la totalidad del sector industrial y dando empleo en torno a 46.500 personas, un 1,8% de las personas ocupadas en la industria. La distribución del número de empresas recae mayoritariamente en el sector 15.2 de fabricación del calzado, encontrándose en esta actividad el 75% de las empresas del CNAE, además, el 80 % de las empresas existentes se caracterizan por su pequeño tamaño, con menos de 20 empleados.

Característica destacable en este sector es la concentración de la industria en áreas geográficas, lo que ha propiciado la sinergia entre empresas y la posibilidad de organizarse formalmente en clústeres para la optimización de recursos y una mayor eficiencia en la gestión. Por áreas geográficas, la Comunidad Valenciana comprende las dos terceras partes de las empresas españolas del Calzado, seguida por la Comunidad de Castilla La Mancha con un 11% y la Comunidad de La Rioja (zona de Arnedo) con un 8%.

En el conjunto del CNAE 15, el desglose por gasto energético se reparte de forma similar en volumen para el CNAE 15.1 y 15.2 representando un 49 % y 51 % respectivamente. En cuanto el gasto energético del CNAE 15.1 el principal volumen recae en la actividad de preparación, curtido y acabado del cuero (CNAE 15.11) con un 90 %, siendo muy inferior el consumo en el CNAE 15.12 representando únicamente el 10 %.

Por fuente energética consumida, el desglose del gasto energético en miles de euros es similar tanto en gasto térmico como eléctrico representado el 52 % y 48 % respectivamente. Si bien es destacable que en el sector de fabricación del calzado (CNAE 15.2) la parte térmica utiliza mayoritariamente como combustible productos petrolíferos (40 % del total de consumo térmico) principalmente gasóleo, mientras que en el sector del cuero es ligeramente predominante el gasto de gas natural. Este dato es un primer indicador de una mayor obsolescencia de los sistemas instalados principalmente calderas donde se demanda este tipo de energía. Aunque el gasto energético de los subsectores es similar, unitariamente, la actividad de “preparación, curtido y acabado del cuero” CNAE

15.1) es la actividad más intensiva en el uso de energía, ya que el número de empresas en el sector del cuero sólo representa el 6% de toda la industria del cuero y calzado.

En cuanto a los indicadores económicos del sector, en primer lugar se muestra la productividad económica en miles de euros por trabajador (este indicador da cuenta del grado de automatización de dichos sectores y del valor añadido del producto elaborado) se obtiene una mayor productividad para el caso del subsector 15.2 con un valor cercano a los 100 m€/trabajador, siendo de 135 m€/trabajador en el caso del sector 15.1, lo que representa un incremento del 35 %. Otro indicador de importante relevancia en la industria es la intensidad energética o coste energético necesario para producir una unidad monetaria de producto, en este caso medida como la relación entre el gasto energético (€) entre el importe neto de la cifra de negocios (m€). Para el subsector 15.1 de preparación, curtido y acabado del cuero se obtiene una intensidad energética mayor alcanzando los 28 €/m€ que en el caso de la fabricación del calzado es de 5 €/m€, dato esperado dado el alto consumo energético necesario para la transformación y conversión de la materia prima inicial en materia final utilizable.

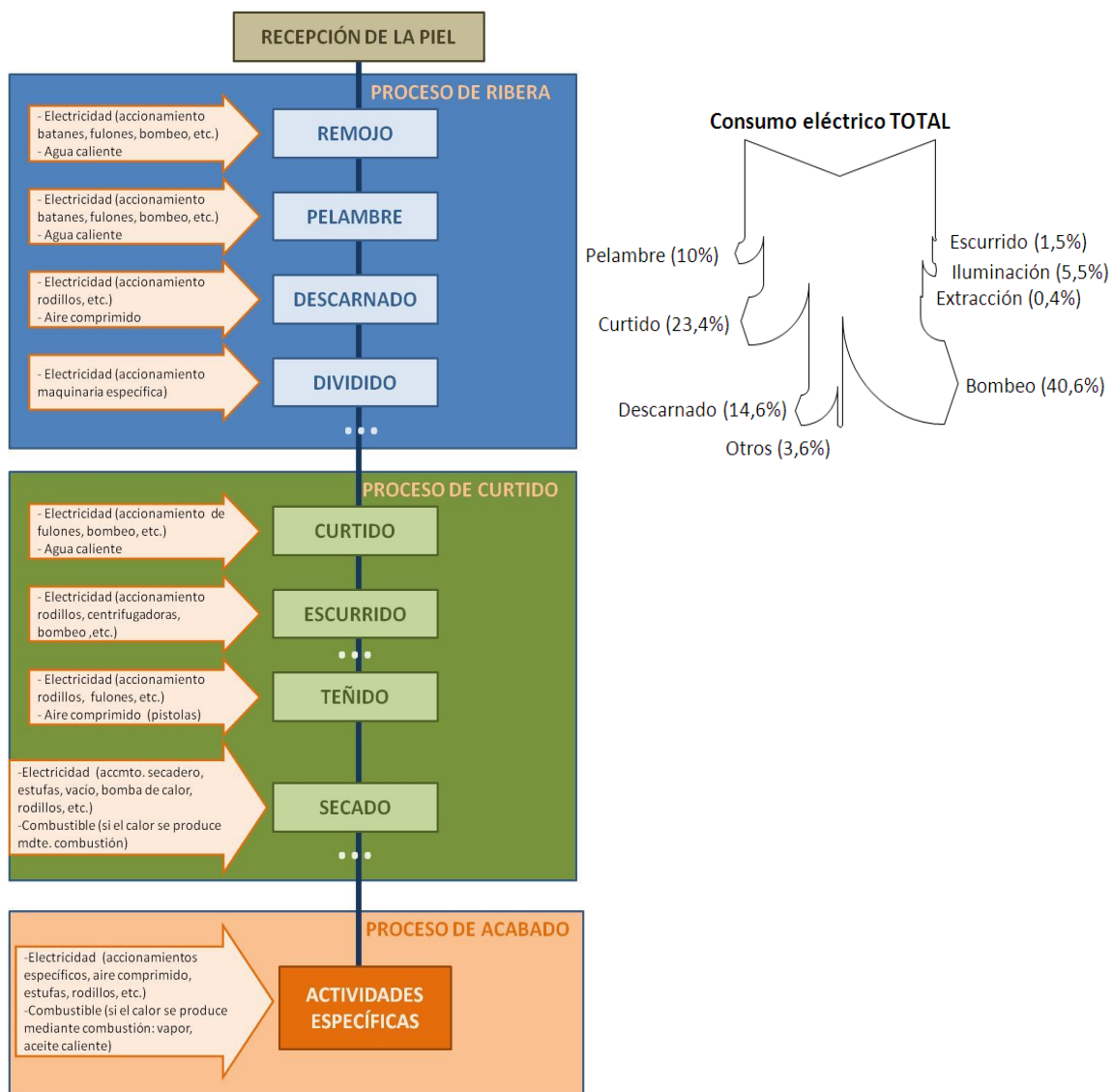
En cuanto a los equipos y procesos implicados, puesto que bajo este sector industrial se incluyen dos actividades completamente distintas, el análisis energético se muestra de forma separada para cada subsector.

#### **Subsector “Preparación, curtido y acabado del cuero”, CNAE 15.1.**

La fabricación de curtidos es una actividad industrial moderadamente intensiva en el consumo de energía comparada con otro tipo de industrias y sectores, en la que los costes energéticos representan entorno a un 5% de los costes de fabricación.

El proceso de curtiembre comprende 3 etapas: ribera, curtido y acabado. A modo de resumen se puede decir que el consumo de agua es un aspecto muy importante en la fabricación de curtidos, ya que se emplea como vehículo indispensable de la incorporación de productos químicos, como agente de limpieza y como producto auxiliar (por ejemplo, como refrigerante o para obtención de vapor). Generalmente, el consumo mayoritario de agua tiene lugar durante las operaciones de ribera (50-65 % del total), seguido de las de curtido (30-40 %), y finalmente la etapa de acabado (10 %). En cuanto al consumo energético, se consume energía eléctrica en el funcionamiento de maquinaria de proceso (bombos, operaciones mecánicas específicas, pigmentadoras, etc.), en la obtención de aire a presión, iluminación, calefacción y tratamiento de las aguas residuales, principalmente. Por su parte, la energía térmica se necesita en las operaciones de secado y en la preparación del agua caliente destinada a las operaciones en bombo (lavado, tinte,...).

Gráficamente, la figura 4 representa el diagrama de flujo en el que aparecen los principales consumos energéticos de cada etapa (izquierda), así como el diagrama Sankey de la distribución del consumo eléctrico en una curtiduría.



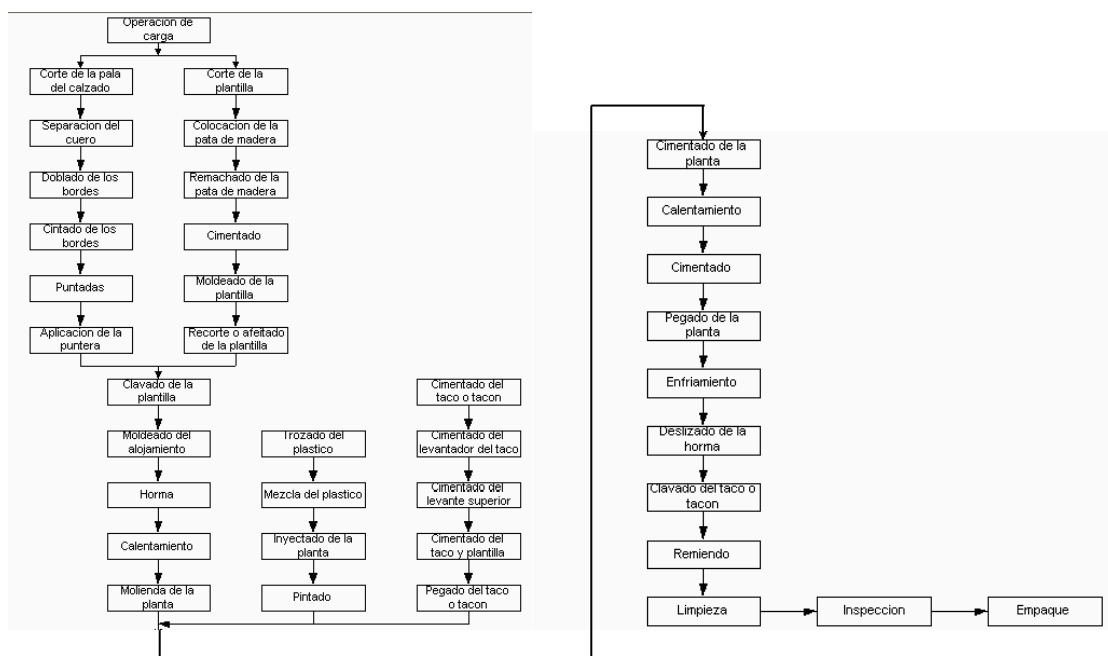
**Figura 4.** Diagrama de flujo del proceso de curtidumbre y Diagrama Sankey de desglose del consumo de electricidad en una empresa de curtidumbre. Fuente: Elaboración Propia.

El consumo térmico tiene lugar fundamentalmente en calderas para la producción de agua caliente para las diversas operaciones que se llevan a cabo en los fulones por lo que en este caso únicamente existe un uso de la energía. Los equipamientos eléctricos en las instalaciones de curtiduría se encuentran principalmente en motores para el accionamiento de bombos, batanes, agitadores y demás equipos de lavado y acondicionamiento del tejido. También se dispone de compresores de aire, utilizados para algunos accionamientos neumáticos y para la pulverización de productos en las fases de acabado del producto. Debido al elevado volumen de aguas residuales producidas en el proceso de curtiduría, además de la maquinaria relacionada directamente con el proceso, el consumo eléctrico en las estaciones depuradoras puede ser de cierta importancia. Dentro de ellas, los equipos de bombeo son accionamientos a tener en cuenta a la hora de determinar medidas de ahorro energético.

## Subsector “Fabricación de calzado”, CNAE 15.2

La fabricación de calzado no es una actividad intensiva en el consumo de energía, y el consumo por empresa es mucho menor que en la actividad anterior. Además, este consumo energético tiene lugar mayoritariamente en accionamientos eléctricos específicos que representan en torno al 50 % del consumo energético total y no así en equipamientos horizontales como en otro tipo de industrias. Se debe tener en cuenta también que existe un gran número de instalaciones modernas, en las que todo o parte del proceso se halla robotizado, existiendo también instalaciones en las que algunos de los procesos siguen realizándose artesanal y manualmente, con poco grado de automatización. En cualquier caso, se trata de un proceso productivo con un elevado número de operaciones unitarias muy específicas que requieren principalmente de consumo eléctrico. Muchos de estos accionamientos, como troqueladoras, grapadoras o clavadoras, son máquinas hidráulicas o neumáticas, por lo que el consumo en aire comprimido es de cierta importancia, hasta el 30 % del total de consumo eléctrico. En cuanto al consumo térmico, este tiene lugar en el secado de adhesivos o calentado de piezas, principalmente por resistencia eléctrica, aunque existen ciertas aplicaciones para las que puede ser necesario vapor a baja presión.

El resto del consumo energético en el proceso es eminentemente eléctrico, ya sea para el accionamiento de motores de diversa potencia, para el accionamiento de bombas, ventiladores, extractores, etc., pudiendo alcanzar el 100 % del total. No obstante, no se debe olvidar el importante consumo energético que puede suponer la calefacción de los espacios de trabajo, que puede suponer porcentajes importantes de la cuenta energética de la instalación, siendo en estos casos el reparto más habitual el correspondiente a 85 % electricidad y 15 % consumo térmico. A modo de ejemplo de la multitud de operaciones que se llevan a cabo para la fabricación, cada una de ellas en un equipamiento específico para ello, se presenta el siguiente ejemplo de esquema de producción.



**Figura 5.** Diagrama de flujo del proceso de fabricación de calzado.

Fuente: Elaboración Propia.



A continuación, una vez analizados los procesos y consumo energético del sector se realiza un resumen de medidas aplicables de eficiencia energética y ahorros energéticos alcanzables mediante su aplicación. Los datos de ahorro son valores teóricos relativos al propio equipo consumidor al que va dirigido la medida.

<b>MEDIDAS IDENTIFICADAS</b>		<b>CNAE 15</b>
<b>EQUIPOS TÉRMICOS</b>	1. Optimización del funcionamiento de calderas	<b>2 - 10%</b>
	2. Optimización de las redes de distribución de calor	<b>2 - 4%</b>
	3. Recuperación de calores residuales en los procesos de curtido y ribera	<b>5 - 20%</b>
	4. Optimización de la operación en las cámaras de secado	<b>1 - 2%</b>
	5. Sustitución de la fuente energética en el sistema de generación de calor	<b>15 - 20 %</b>
<b>CONSUMO DE AGUA</b>	*6. Aplicación de la MTD de Curtido en seco	<b>No hay datos cuantificados</b>
	*7. Aplicación de la MTD de Curtido con baños cortos	<b>No hay datos cuantificados</b>
<b>EQUIPOS ELÉCTRICOS</b>	8. Instalación de variadores de frecuencia en bombeo y ventilación	<b>5-10%</b>
	9. Empleo de motores de alta eficiencia	<b>2- 8%</b>
	10. Medidas de Ahorro energético en la producción de aire comprimido	<b>2 - 5%</b>
	11. Mejora de la eficiencia de los sistemas de iluminación	<b>10 - 25%</b>
<b>MEDIDAS GENERALES</b>	12. Contabilidad energética	<b>4 - 8%</b>
	13. Automatización de procesos	<b>5 - 10%</b>
	14. Revisión y mantenimiento de equipos	<b>1 - 3%</b>

**Tabla 3:** Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 15. Fuente: Elaboración propia

\*Clasificadas como medidas de consumo de agua que repercuten en un menor consumo de la energía térmica utilizada para su calentamiento.

El ahorro energético global obtenido en una industria por la inclusión de alguna de estas medidas en su proceso dependerá de las características propias de cada instalación y de la importancia relativa de cada equipo sobre el que se aplique la medida en relación con el consumo total (térmico o eléctrico). Para la determinación exacta del efecto de las distintas medidas aplicables es necesario desarrollar un sistema de medida y registro de consumos energéticos. Aunque las factorías del subsector de curtido han optimizado sus procesos y equipos, mejorando progresivamente las plantas de fabricación, queda aún un margen de mejoras, con medidas menos convencionales que se basan en las Mejores Técnicas Disponibles para el proceso de curtido, así como medidas relativas a equipamientos horizontales principalmente sistemas de bombeo por su peso en el consumo de energía eléctrica total. En cuanto a la fabricación de calzado, la elevada especificidad de la maquinaria empleada, unida al gran peso que representa la mano de obra en el proceso de fabricación, hace que las medidas aplicables de ahorro y eficiencia energética estén limitadas a la optimización de las tecnologías horizontales principalmente aire comprimido y motores eléctricos.

### 4.3 Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16)

Al igual que en los sectores anteriormente estudiados, el sector de actividad recogido bajo el código CNAE 16 se ha subdividido en dos subsectores de actividad diferenciadas: el primero de ellos corresponde a la Industria de la madera y del corcho, excepto muebles, (16.1 y 16.2) y el segundo corresponde al subsector dedicado a la fabricación de muebles (16.3).

En su totalidad la Industria comprendida en este CNAE está integrada por alrededor de 22.300 empresas, representando entorno al 15% de la totalidad de empresas englobadas en el sector industrial, las cuales dan empleo a casi 350.000 personas, un 13% del personal empleado en la industria española. En el reparto de empresas por actividades se puede observar como el primer subsector aglutina un 46 % de empresas correspondiendo el 54 % el segundo subsector. Por actividades, las empresas poseen como característica común su reducido número de trabajadores (menos de 20 personas ocupadas), si bien es cierto, que existen actividades como la fabricación de estructuras de madera y piezas de carpintería y ebanistería para la construcción (CNAE 16.23), donde esta característica se ve más acrecentada con un 93% de las empresas y otras actividades como la fabricación de chapas, tableros y tableros de madera (CNAE 16.21) donde este porcentaje es del 70%.

En cuanto a trabajadores destaca principalmente el elevado número de personas ocupadas en la actividad de fabricación de muebles (16.3), representando casi el 60% del sector. La localización geográfica de las empresas está repartida por toda la península, sin embargo, se debe reseñar que las industrias que elaboran productos semiacabados, aserraderos y fabricación de tableros suelen localizarse en zonas rurales, donde el suministro de materias primas está próximo. Por el contrario las empresas dedicadas a la elaboración de productos finales se encuentran localizadas en zonas cercanas a grandes poblaciones. Las Comunidades Autónomas que ocupan los primeros puestos respecto al nivel de negocio generado son Comunidad Valenciana, Cataluña, Andalucía y Galicia, mientras que en cuanto al mayor número de trabajadores destaca también Comunidad Valenciana seguida de Cataluña. En el caso del número de empresas se sitúa en cabeza Cataluña, seguida de Andalucía y Comunidad Valenciana.

En términos de gasto energético, se observa como el mayor porcentaje del sector se da en la actividad de fabricación de productos de madera, corcho, cestería y espartería (16.2) con un 57 % del total, si bien es cierto que el sector con el mayor número de empresas y trabajadores es el de fabricación de muebles (16.3), esto es debido a que en el subsector 16.2 se destina gran cantidad de energía para secado, desfibrado y prensado del producto. Le siguen por porcentaje de consumo el subsector 16.3 y el subsector 16.1 con un 36 % y un 7 % respectivamente.

En el reparto por tipo de fuente energética consumida, se puede observar como es la electricidad la que mayor porcentaje de gasto energético representa con un 60 % del total del sector, esto es debido, a su mayor coste unitario y a la energía empleada en elaboración y manipulación de materiales así como el consumo de actividades complementarias y adicionales como alumbrado, climatización, etc. Le siguen en importancia los productos petrolíferos con un 28 % y el gas natural con un 10 %. La reducida participación del coste de gas natural se explica por su uso predominante en los sistemas de calefacción, utilizando en la mayoría de empresas para este sistema el residuo generado en los procesos relacionados con la madera como es el serrín para la incorporación en calderas de biomasa.



Aunque el gasto energético del subsector 16.2 es el predominante dentro del CNAE, el indicador de gasto energético por empresa equipara el valor entre éste (21 m€/empresa) y el subsector 16.1 (20 m€/empresa). Esto es debido a que el número de empresas englobadas en el segundo de ellos mantiene su proporción en reducción de empresas y reducción de gasto energético respecto al otro sector mencionado. Sin embargo, en el caso del subsector 16.3 se observa como el indicador posee un valor muy inferior (9 m€/empresa), este hecho es debido en gran parte al gran número de empresas englobadas en esta actividad, como se ha mostrado anteriormente.

En cuanto a la productividad económica, medida en miles de euros por trabajador (este indicador da cuenta del grado de automatización de dichos sectores y del valor añadido del producto elaborado) se obtiene una mayor productividad para el caso del subsector 16.3 con un valor cercano a los 96 m€/trabajador, siendo de 123 m€/trabajador en el caso del sector 16.2, y de 124 m€/trabajador en el caso del sector 16.1 lo que representa un incremento del 28 % para estos dos últimos subsectores.

En cuanto al indicador de intensidad energética (coste energético necesario para producir una unidad monetaria de producto en este caso medida como la relación entre el gasto energético (€) entre el importe neto de la cifra de negocios (m€)), se observa como el sector de fabricación de muebles (16.3) muestra el valor más reducido 9 €/m€, valor esperado, según los datos sectoriales anteriormente mostrados. En el caso de los subsectores 16.1 y 16.2 el valor se duplica hasta alcanzar 17 €/m€ y 18 €/m€ respectivamente.

El siguiente paso corresponde a la realización del análisis general del perfil energético del sector industrial de la madera y el corcho y de la fabricación de muebles. Los sectores industriales estudiados en este capítulo abarcan desde la industria de la primera transformación de la madera en productos semielaborados como tableros, a la fabricación de productos finales como muebles por lo que hacer una descripción general de las características energéticas de la actividad conlleva sus limitaciones, puesto que en este sector, como en otros, existe una gran diversidad de instalaciones. Además, se ha detectado que existe una disponibilidad desigual de datos concretos relativos a la contabilidad energética de instalaciones pertenecientes a este sector, por lo que la caracterización no puede tener el mismo grado de detalle en todas las actividades.

En cuanto a los equipos y procesos implicados, puesto que bajo este sector industrial se incluyen actividades completamente distintas, el análisis energético se realizará para cada subsector.

### **Subsector “Aserrado y cepillado de la madera”, CNAE 16.1**

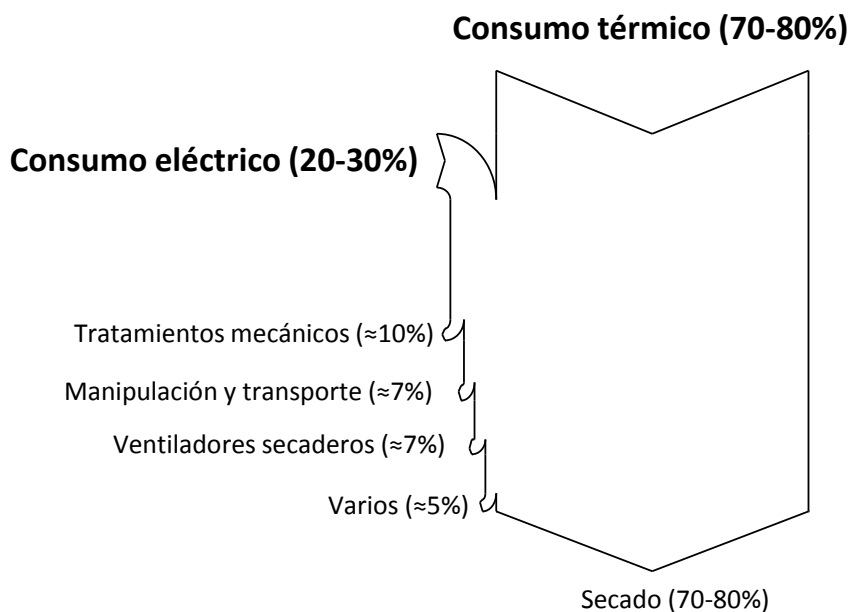
Este subsector comprende la fabricación de los primeros productos semielaborados de la madera, así como algunos productos de segunda transformación como envases, suelos, etc. Este es el proceso de primera transformación de la madera y el más sencillo, con la que se pueden obtener productos como tablas, listones, vigas, etc. Dicho proceso comienza con una serie de operaciones mecánicas de acondicionamiento del producto, tales como el descortezado, eliminación de partes no aptas para el producto, etc. Posteriormente, será necesario llevar a cabo un secado de la madera, puesto que su contenido en humedad haría que el producto final no fuera estable, siendo este proceso el principal proceso consumidor de energía dentro de estas instalaciones, suponiendo entre un 70 y un 80% de la energía final consumida en ellas. Su desarrollo tiene lugar en secaderos, que pueden ser continuos o discontinuos, siendo éstos últimos preferibles energéticamente. En ellos, el calentamiento

del aire de secado se realiza normalmente mediante una batería de radiadores de tubos con aletas recorridos por un fluido térmico o, raramente, por resistencias eléctricas. El fluido térmico más habitual es agua sobrecalentada o vapor a baja presión, calentado mediante calderas, gas natural, gasóleo, biomasa, etc. El movimiento del aire caliente en el interior del secadero también implicará un consumo eléctrico en ventiladores. El consumo eléctrico que se produce en estas instalaciones tiene lugar en el accionamiento de motores para sierras, descortezadoras, extractores, ventiladores, etc., así como en la producción de aire comprimido necesario para el funcionamiento de maquinaria determinada.

Especial atención merece el consumo eléctrico producido por el transporte de materiales en el interior de la fábrica, que puede rondar los 15 kWh/m<sup>3</sup>. Esto es debido a la gran presencia de métodos neumáticos de transporte de materiales frente a métodos mecánicos, cuyo consumo específico es del orden de 10-20 veces superior al consumo en transporte mecánico. Como consumos térmicos y eléctricos de referencia se ha obtenido que para cada m<sup>3</sup> de madera tratada pueden tomarse los siguientes:

- Consumo electricidad: 60 kWh/m<sup>3</sup>.
- Consumo combustibles: 266 kWh/m<sup>3</sup> (>80% del total).

La distribución del consumo total desagregada por fuentes energéticas y usos se representa en la figura 6 a través del diagrama Sankey correspondiente.



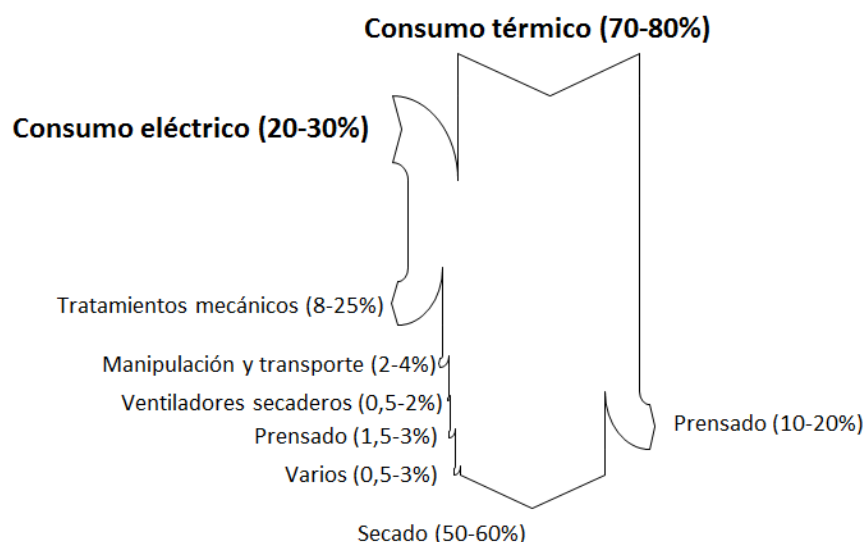
**Figura 6.** Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.1. Fuente: Elaboración Propia.

## Subsector “Fabricación de productos de madera, corcho, cestería y espartería”, CNAE 16.2

Por sus diferencias en el proceso de fabricación, este subsector se va a centrar en los aspectos energéticos más importantes de la fabricación de tableros, pues se trata del semielaborado de mayor producción. Posteriormente, se ha analizado los aspectos energéticos más relevantes de la fabricación de productos de corcho.

Existen diferentes tipos de tableros en función su composición, (tableros de partículas, de fibras o contrachapados) que hace que existan diversos esquemas productivos. No obstante, en todos los casos, el consumo térmico en los procesos de secado es el de mayor importancia, ascendiendo a un 50-60% del consumo energético total de la planta, que junto con el calentamiento necesario para el fraguado de la cola en el proceso de prensado (mediante el cual se conforman los tableros), que puede ascender al 10-20% del consumo total, son los principales consumos energéticos de este tipo de instalaciones. En el caso de esta última actividad, la energía demandada corresponde tanto a energía eléctrica como energía térmica. La primera se demanda principalmente en los platos de las prensas, mientras que la energía térmica se utiliza en el calentamiento de los propios platos a la temperatura necesaria para el fraguado de la cola. La fuente energética más intensiva de este proceso es energía térmica del orden de 200 kWh/m<sup>3</sup>, siendo en el caso de la energía eléctrica demandada 20 kWh/m<sup>3</sup>. En lo que al consumo eléctrico se refiere, todos ellos requieren una serie de operaciones de acondicionamiento de la madera que se pueden agrupar en un apartado de tratamientos mecánicos, específicos para cada producto. Otro proceso común en la fabricación de tableros es el de transporte, que presenta un elevado peso en estas instalaciones, pues, como se ha comentado anteriormente, el transporte neumático es un gran consumidor de energía. Estos valores pueden alcanzar los 35 kWh/m<sup>3</sup>. Los demás outputs de energía hacen referencia al movimiento del aire caliente en los secaderos, que pueden estar entre el 0,5 y el 2% del consumo total de la empresa.

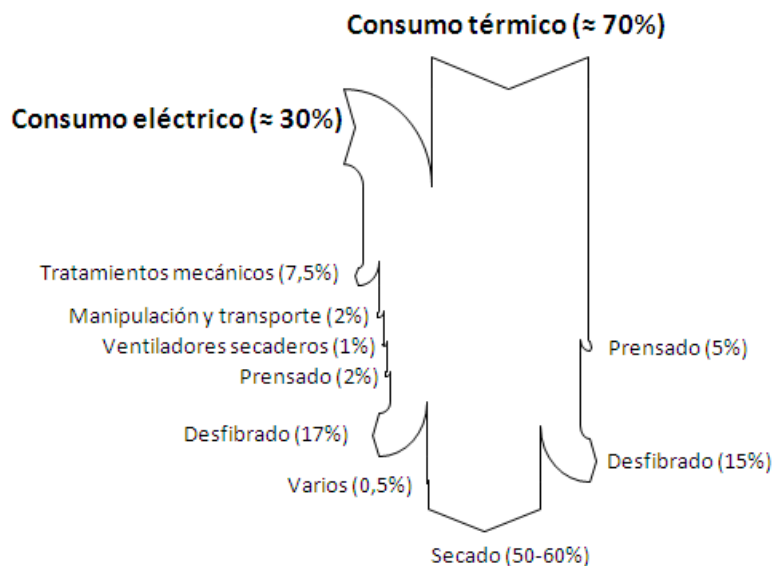
La distribución del consumo total desagregada por fuentes energéticas y usos se representa en la figura 7 a través del diagrama Sankey correspondiente.



**Figura 7.** Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.2. Fuente: Elaboración Propia.

En el caso particular de tratarse de **tableros de fibras**, existe un proceso que tiene también importancia correspondiente al desfibrado de la madera. Este consiste en la separación mecánica de las fibras de la madera con ayuda de vapor de agua. En las instalaciones de fabricación de tableros de fibras, este consumo térmico puede superar el 30% del consumo energético total, repartido a partes iguales entre consumo térmico y eléctrico.

La distribución del consumo total desagregada por fuentes energéticas y usos en el caso concreto de tratarse de tableros de fibras se representa en la figura 8 a través del diagrama Sankey correspondiente.



**Figura 8.** Diagrama Sankey de desglose del consumo de energía total por tipo de fuente energética y aplicación CNAE 16.2 para el caso de tableros de fibras.

Fuente: Elaboración Propia.

Los consumos térmicos y eléctricos de referencia para cada  $\text{m}^3$  de madera tratada en este caso pueden tomarse los siguientes:

- Consumo electricidad:  $180 \text{ kWh/m}^3$ .
- Consumo combustibles:  $850 \text{ kWh/m}^3$ .

En cuanto al proceso de fabricación de productos basados en **corcho**, existen fundamentalmente dos procesos distintos para su tratamiento, dependiendo del producto a obtener, siendo el que cobra mayor importancia dentro de las instalaciones nacionales es el de fabricación de tapones de corcho, aunque también existe otro proceso mediante el cual se obtiene aglomerado de corcho de peor calidad, utilizado para la fabricación de gránulos, planchas, rollos, etc. para usos diversos menos extendido.

El proceso comienza una vez extraída la materia prima del árbol y trasladada a la planta de tratamiento, donde la fabricación de tapones de corcho sigue el siguiente proceso:

a) Obtención de las planchas planas de corcho con las que luego se fabricará el producto. En este paso el corcho es hervido por primera vez durante una hora aproximadamente a  $100^\circ\text{C}$ , lo que requiere importantes cantidades de energía térmica proporcionada por calderas. Este hervido se lleva a cabo principalmente en calderas abiertas de acero inoxidable de unos  $15 \text{ m}^3$  de capacidad, utilizando, generalmente, biomasa como combustible. Esto permite la eliminación de taninos y lignina, así como parásitos que

podrían afectar al producto final, b) Almacenamiento en reposo de las planchas de corcho, sin procesar, durante un año, lo que mejora sus propiedades y permite su curado, c) limpieza definitiva de lignina, taninos, hongos y bacterias, y puesta a punto del corcho, d) segunda hervida, en calderas de las mismas características que las anteriores, e) corte del corcho según la medida deseada y perforado con el fin de extraer el tapón.

Por último, una vez eliminados los tapones no válidos, se procede a su secado. El horno para el secado de tapones consiste en un bombo giratorio con puerta de acceso y aislado térmicamente, por donde se le hace circular una corriente de aire caliente a unos 90° C de temperatura. Este aire caliente se obtiene por intercambio de calor, mediante la combustión de gasóleo o biomasa principalmente, y circulará entre los corchos con ayuda de ventiladores. Tras una serie de operaciones mecánicas de lijado, esmerilado, etc. los tapones son lavados en tambores giratorios generalmente con agua caliente y posteriormente secados. Finalizan el proceso las operaciones de marcaje, clasificación, tratamiento superficial, embolsado, etc.

A modo de resumen, los equipamientos presentes en estas instalaciones no serán sensiblemente diferentes de los empleados en los procesos anteriores. Se encontrarán: sistemas de producción de aire comprimido, de extracción de polvo, transporte neumático, secadoras de tapones y calderas; además de maquinaria eléctrica específica como: pulidoras, marcadoras, lijadoras, máquinas contadoras.

### **Subsector “Fabricación de muebles”, CNAE 16.3**

El consumo energético de forma específica en cada una de las industrias dentro del sector del mueble, de manera general, no es un aspecto de relevancia, ya que el proceso productivo no exige grandes consumos de energía eléctrica o térmica, siendo este consumo puntual en ciertas etapas del proceso como corroboran los datos de caracterización del sector mostrados anteriormente que sitúan el indicador de intensidad energética en el más bajo de CNAE. Sin embargo, al considerarse el conjunto de las empresas que lo forman, por su elevado volumen, el consumo total sí que resulta representativo lo que hace interesante su análisis.

Respecto al proceso de fabricación, los muebles pueden elaborarse a partir de madera maciza, o bien a partir de tableros requiriéndose de distintas operaciones de mecanizado específicas según un tipo u otro. En estas operaciones de mecanizado, la electricidad es el principal consumo energético, pues se precisa para el accionamiento de la mayor parte de herramientas mecánicas específicas utilizadas, tales como sierras, cepilladoras, fresadoras, taladros, tornos, etc., cuyo consumo de energía asciende a valores cercanos al 45 % del consumo total. Además, se detecta la producción de aire comprimido, necesario para el funcionamiento de cierta maquinaria presente en las instalaciones y que alcanza valores de en torno al 20 % del consumo eléctrico. En ellas también deberá ser tomado en cuenta el consumo energético necesario para extraer del ambiente las partículas de madera desprendidas durante las operaciones de mecanizado realizado a través de sistemas de aspiración que recorren las instalaciones y cuyo consumo de energía debido a los motores necesarios representa valores cercanos al 15 % del total de consumo eléctrico.

En cuanto al consumo térmico, éste se produce en determinadas actividades específicas como el curvado de la madera y el chapado. En el primer caso, para ablandar la madera y permitir el curvado se necesita vapor (100°C), mientras que para eliminar la humedad ganada en el proceso anterior una vez adquirida la forma, las piezas se introducirán en un

horno de secado, con características similares a los explicados anteriormente. Estos procesos pueden ser realizados en las propias máquinas a través de la obtención del calor necesario mediante resistencias eléctricas. En lo que se refiere al chapado, el proceso es análogo al prensado que tiene lugar en la fabricación de tableros y cuyas características se han detallado anteriormente. Básicamente consiste en la acción conjunta de presión y temperatura para el curado de la cola termoendurecible que permite la fijación de la lámina que actuará como recubrimiento (como chapado) a la madera o tablero.

Una práctica que puede observarse en algunas empresas del sector es la utilización de la madera residual y las mermas del proceso para alimentar la caldera y así producir la energía térmica necesaria. Esta práctica es, a primera vista, muy interesante desde el punto de vista medioambiental, ya que permite la valorización de un residuo y la obtención de ahorros energéticos. Sin embargo, la ausencia de control en la realización de las quemas (quema de residuos peligrosos, falta de equipamientos de depuración de gases) puede convertir una buena práctica en una actividad de fuerte impacto ambiental.

A continuación, una vez analizados los procesos y consumo energético del sector se realiza un resumen de medidas aplicables de eficiencia energética y ahorros energéticos alcanzables mediante su aplicación. Los datos de ahorro son valores teóricos relativos al propio equipo consumidor al que va dirigido la medida. Aunque los procesos que conforman cada subsector difieren, los equipos necesarios son muy similares por lo que las medidas de ahorro energético aplicables también lo son.

<b>MEDIDAS IDENTIFICADAS</b>		<b>CNAE 16</b>
<b>EQUIPOS TÉRMICOS</b>	<b>1. Mejoras energéticas en secaderos</b>	<b>5 - 15 %</b>
	<b>2. Recuperación de calor residual en hornos y secaderos (economizadores/precalentadores)</b>	<b>2 - 8 %</b>
	<b>3. Optimización de la red de distribución de calor</b>	<b>1 - 3 %</b>
	<b>4. Optimización del funcionamiento de calderas</b>	<b>2 - 5 %</b>
	<b>5. Sustitución de la fuente energética de generación de calor</b>	<b>10 - 15 %</b>
	<b>6. Aplicación de un régimen continuo en hornos y secaderos</b>	<b>5 - 8 %</b>
	<b>7. Valorización del residuo generado (serrín y retal) en los sistemas térmicos</b>	<b>15 - 20 %</b>
	<b>8. Instalación de un sistema de gasificación</b>	<b>Sin valorar</b>
<b>EQUIPOS ELÉCTRICOS</b>	<b>9. Mejoras en los sistemas de generación y distribución de aire comprimido</b>	<b>10 - 15 %</b>
	<b>10. Instalación de motores de alta eficiencia en el proceso de aserrado</b>	<b>2 - 10 %</b>
	<b>11. Instalación de variadores de velocidad en motores de aspiración y cintas transportadoras</b>	<b>8 - 15%</b>
	<b>12. Mejoras de los sistemas de iluminación</b>	<b>10 - 20 %</b>
<b>MEDIDAS GENERALES</b>	<b>13. Contabilidad energética</b>	<b>4 - 8%</b>
	<b>14. Automatización de procesos</b>	<b>5 - 10%</b>
	<b>15. Revisión y mantenimiento de equipos</b>	<b>1 - 3%</b>

**Tabla 4:** Clasificación de Medidas de Ahorro Energético y evaluación del potencial de ahorro del CNAE 16. Fuente: Elaboración propia

En lo que al consumo eléctrico se refiere, todos los subsectores requieren una serie de operaciones de acondicionamiento de la madera que se pueden agrupar en un apartado de tratamientos mecánicos, específicos para cada producto. Como se ha visto, el mayor consumo energético corresponde con el transporte de materiales, la producción de aire comprimido y el accionamiento de motores para el aserrado, considerando una teórica implementación de las medidas planteadas sobre estos consumos se obtiene que el potencial de ahorro energético sobre el consumo eléctrico se encuentra en un rango del 10 al 35%.

En cuanto al consumo térmico, se observa que el potencial de ahorro es mayor, pudiendo llegar al 50% en casos extremos. Esto es debido en parte a la influencia del importante ahorro que supone la sustitución del tipo de horno de discontinuo a continuo, el aprovechamiento energético de los calores residuales y la posibilidad de la valorización energética de los subproductos (serrín y retales) en calderas.



## 5 DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

Se ha caracterizado energéticamente la tipología de empresas representativas de los sectores de actividad según CNAE 2009 correspondientes a Agricultura, Ganadería y Caza (CNAE 01), Cuero y Calzado (CNAE 15), e Industria de la Madera y del Corcho (CNAE 16). La metodología seguida ha permitido tener un exhaustivo conocimiento de los equipos y procesos más influyentes así como su participación en el consumo de energía. Además, junto con los datos reales pertenecientes a los cuestionarios energéticos de 300 industrias de los sectores a estudio, ha sido posible elaborar una lista justificada de medidas de eficiencia energética que permiten reducir el consumo de energía de las instalaciones. La auditoría energética realizada en una industria de cada sector se ha mostrado efectiva como herramienta de validación de los resultados y conclusiones del estudio de análisis energético. Este análisis revela que de los sectores estudiados, el mayor consumo se da en el CNAE 01 (3,3 %), seguido del CNAE 16 (2,3 %) y el CNAE 15 (1,5 %), y que en conjunto representan el 7,1 % del total de consumo final en la industria, que sumado al 48 % analizado por Aranda. A et al [15] en una investigación científica previa permite poseer la información energética de más de la mitad del consumo de energía final en la industria Española (55,1 %).

Por fuentes energéticas, ninguno de los sectores demanda carbón, los productos petrolíferos (gasóleo y fuel) tienen un peso relevante en el CNAE 15 (23 %) y en el CNAE 1 (33%), en los cuales el gas natural se demanda de forma similar representado el 34 % y 41 % respectivamente. En cuanto a la electricidad su reparto varía según sector siendo el más intensivo en su demanda el CNAE 15 con un 43 %. La participación de las Energía Renovables es minoritaria, y destaca únicamente en el caso del CNAE 16 donde representa el 63 % del total, siendo principalmente biomasa procedente de la valorización de sus residuos. La generación de Biogás en el CNAE 1 no llega a representar el 1 % del total muestra de una reducida valorización de residuos como son los purines desvelando el potencial de aprovechamiento existente en la reducción de los coste energéticos como se ha identificado en otras investigaciones [50]. En términos de coste energético para las fuentes de energía principales, el mayor precio de la electricidad en España (12 cent€/kWh), respecto del gas natural (3,8 cent€/kWh) incluidos impuestos, hacen que el porcentaje de reparto varíe a favor de un mayor aumento del coste eléctrico llegando a representar en los casos donde se demandan varios tipos de energía hasta el 60 % del coste total como es el caso del CNAE 16, muestra de la relevancia que este tipo de consumo tiene en la industria Española y que autores como Alcántara V. et al han identificado previamente [51].

Por sectores, en el CNAE 1 el análisis del subsector correspondiente a la agricultura muestra que existe un importante potencial de ahorro que puede ser llevado a cabo por la modernización de las flotas agrícolas (10-20 %) y por el cambio de sistemas de riego por aspersión a riego localizado (5-15 %) y otras actuaciones relativas a sistemas de laboreo y fertilización (20-30 %). Por su parte, la demanda energética de una instalación ganadera se utiliza principalmente para conseguir las condiciones ambientales adecuadas para los animales en su interior. Por lo tanto, las medidas de ahorro energético irán dirigidas al ahorro de combustible y de electricidad en los sistemas de acondicionamiento del confort, calefacción, refrigeración y ventilación permitiendo un ahorro de energía comprendido entre el 20-30 %. Además existe un potencial de ahorro importante eliminando el consumo



de productos petrolíferos a favor de sistemas basados en gas natural y energías renovables principalmente biogás.

En el CNAE 15, aunque la importancia de los costes energéticos en el total de costes de la industria para el caso del Curtido (CNAE 15.1) no es muy relevante, existe margen de mejora, con medidas convencionales que se centran en la optimización de las tecnologías horizontales. La investigación para la mejora de la eficiencia energética no es una actividad prioritaria del sector y los desarrollos novedosos en este campo se muestran reducidos al igual que establece la Estrategia Española de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012 [9]. En cuanto a la fabricación de calzado (CNAE 15.2), el proceso demanda una elevada especificidad de la maquinaria empleada, que unida al gran peso que representa la mano de obra en el proceso de fabricación, hace que las medidas aplicables de ahorro y eficiencia energética sean limitadas. En general, las empresas que componen el CNAE 15 poseen un potencial de ahorro de energía basado en la disminución del consumo de electricidad mediante mejoras centradas en los sistemas de móviles, principalmente motores asociados a la maquinaria, el bombeo y transporte de materiales, así como en el aire comprimido con un potencial de ahorro de entre un 8 -15 %, así como la reducción del coste térmico principalmente gasóleo, con un peso relevante en el conjunto del sector, a través de sistemas de recuperación de calor, la reducción de agua caliente y su sustitución por otros combustibles como el gas natural o biomasa.

En el CNAE 16 si bien en general no se trata de un sector industrial muy intensivo en el consumo de energía, el efecto multiplicador que conlleva el elevado número de empresas existentes (15 % del sector industrial), hace interesante el estudio de su potencial de ahorro energético. Respecto al consumo eléctrico, el mayor uso corresponde con el transporte de materiales, la producción de aire comprimido y el accionamiento de motores para el aserrado y aspiración. Considerando una teórica implementación de las medidas planteadas sobre estos equipos se obtiene que el potencial de ahorro energético sobre el consumo eléctrico se encuentra en un rango del 10 al 15%. En cuanto al consumo térmico, principal en estas instalaciones, se observa que el potencial de ahorro es mucho mayor, en la implantación de mejoras de recuperación de calores residuales y el régimen de funcionamiento de hornos con valores generales de ahorro de entre el 30-40 %. Cabe destacar que una de las medidas más importantes en este sector resulta de la valorización de sus residuos (principalmente retales y serrín) para su incorporación en los sistemas de generación de calor con un potencial de ahorro comprendido entre el 15-20 %.

A pesar de la heterogeneidad de los sectores industriales estudiados que dificultan un análisis de conjunto, los resultados obtenidos muestran la existencia de un potencial de ahorro considerable en todos los sectores y subsectores. Estos datos se apoyan en los resultados y conclusiones de otros autores sobre el análisis del potencial de ahorro en el sector industrial dentro de la literatura científica [4, 25].

Finalmente, a partir del presente proyecto y la metodología de caracterización energética de sectores planteada, se abren futuras líneas de investigación centradas en primer lugar en su aplicación al resto de sectores restantes de la industria en España (44,9 %), así como a otro tipo de sectores caracterizados por centros de consumo dispersos que guardan relaciones entre sí (sector hotelero, hospitales, residencial, servicios, etc.). Además para cada sector analizado, se han identificado una serie de medidas de ahorro energético las cuales ya sea por corresponder a tecnologías más innovadoras o por su mayor potencial de implantación y desarrollo pueden ser motivo de futuras investigaciones más exhaustivas que analicen el grado de penetración en el mercado así como su implantación en los sectores industriales.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

1. Deng, Y.Y., K. Blok, and K. van der Leun, *Transition to a fully sustainable global energy system*. Energy Strategy Reviews, 2012. **1**(2): p. 109-121.
2. Yusta, J.M., et al., *Optimal electricity price calculation model for retailers in a deregulated market*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2005. **27**(5-6): p. 437-447.
3. Hernández, F., et al., *Energy sustainability and global warming in Spain*. Energy Policy, 2004. **32**(3): p. 383-394.
4. *World Energy Outlook*, 2012, International Energy Agency (IEA).
5. Labandeira, X., Martín-Moreno, J.M., *Climate change policies after 2012*. Energy Journal 30, 2009(2): p. 1-5.
6. *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020*, 2011, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE): Madrid.
7. Patterson, M.G., *What is energy efficiency?: Concepts, indicators and methodological issues*. Energy Policy, 1996. **24**(5): p. 377-390.
8. Freeman, S.L., M.J. Niefer, and J.M. Roop, *Measuring industrial energy intensity: practical issues and problems*. Energy Policy, 1997. **25**(7-9): p. 703-714.
9. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*, 2003, Secretaría de Estado y Energía. Ministerio de Economía.
10. *Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE-2009)*, 2009, Instituto Nacional de Estadística (INE).
11. *Boletín de coyuntura energética 2012*, 2012, Secretaría de Estado y Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
12. *Observatorio de Energía y Sostenibilidad en España 2012*: Universidad Pontificia. Comillas, Madrid.
13. *Directorio Central de Empresas*, 2013, Instituto Nacional de Estadística (INE).
14. *Encuesta de Consumos Energéticos (ECE) 2011*: Instituto Nacional de Estadística (INE).
15. Aranda-Usón, A., et al., *Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors*. Energy, 2012. **42**(1): p. 477-485.
16. *Electricity and natural gas price statistics*, 2012, European Commission (EUROSTAT).
17. *Action Plan for Energy Efficiency: Realising the Potential*, 2006, Commission of the European Communities.
18. Stern, N., *Stern Review on the Economics of Climate Change*. 2006.
19. *Decision of the European Parliament and of the Council on the effort you have to deploy the Member State to reduce greenhouse gas emissions to meet the commitments made by the community until 2020*, 2008, Commission of the European Communities.
20. *Strategic Plan Energy Technology*, 2007, Commission of the European Communities.
21. *A European strategic energy technology plan (SET-PLAN)*, 2007, Commission of the European Communities.
22. *Normativa relativa a la Eficiencia Energética*, 2012, Parlamento Europeo y consejo de la Unión Europea.
23. Helm, D., *The European framework for energy and climate policies*. Energy Policy, (0).
24. de Miguel, C., X. Labandeira, and B. Manzano, *Economics of energy and environmental policies*. Energy Economics, 2011. **33**, **Supplement 1**(0): p. S2-S3.
25. Ghaddar, N. and T. Mezher, *Modeling of current and future energy intensity and greenhouse gas emissions of the Lebanese industrial sector: assessment of mitigation options*. Applied Energy, 1999. **63**(1): p. 53-74.
26. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012. Plan de Acción 2005-2007*, 2005, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
27. *Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética 2004-2012. Plan de Acción 2008-2012*, 2008, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

28. Bolaños, O., *Caracterización y tipificación de organizaciones de productores y productoras*. Congreso nacional de Extensión de México, 1999. **Conferencia 2**.
29. Ander, E., *Técnicas de investigación sectorial*. Humanistas, 1965.
30. Oğulata, R.T., *Sectoral energy consumption in Turkey*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2002. **6**(5): p. 471-480.
31. Inglesi-Lotz, R. and J.N. Blignaut, *South Africa's electricity consumption: A sectoral decomposition analysis*. Applied Energy, 2011. **88**(12): p. 4779-4784.
32. Chen, S., N. Li, and J. Guan, *Research on statistical methodology to investigate energy consumption in public buildings sector in China*. Energy Conversion and Management, 2008. **49**(8): p. 2152-2159.
33. Saidur, R., et al., *End-use energy analysis in the Malaysian industrial sector*. Energy, 2009. **34**(2): p. 153-158.
34. Sonnino, T., *Energy consumption in Israeli industry and agriculture*. Energy, 1982. **7**(2): p. 221-230.
35. Andrade Silva, F.I. and S.M.G. Guerra, *Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector—1995 to 2005*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2009. **13**(9): p. 2589-2596.
36. Saidur, R. and S. Mekhilef, *Energy use, energy savings and emission analysis in the Malaysian rubber producing industries*. Applied Energy, 2010. **87**(8): p. 2746-2758.
37. *Documentos de Mejores Técnicas Disponibles en sectores industriales*, 2012, Ministerio de Agricultura, alimentación y medio ambiente.
38. European, C., *Refence Document on Best Available Techniques for the Tanning of Hides and Skins*. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003.
39. European, C., *Reference Document on Best Available Techniques for intensive Rearing of Poultry and Pings*. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003.
40. European, C., *Reference Document on Best Available Techniques for the Textiles Industry*. Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), 2003.
41. Klugman, S., M. Karlsson, and B. Moshfegh, *A Scandinavian chemical wood pulp mill. Part 1. Energy audit aiming at efficiency measures*. Applied Energy, 2007. **84**(3): p. 326-339.
42. Nguyen, T.L.T., J.E. Hermansen, and L. Mogensen, *Fossil energy and GHG saving potentials of pig farming in the EU*. Energy Policy, 2010. **38**(5): p. 2561-2571.
43. Tünay, O., et al., *Use and minimization of water in leather tanning processes*. Water Science and Technology, 1999. **40**(1): p. 237-244.
44. Fenosa, G.N., *Hacia una empresa baja en carbono*. 2012.
45. *Encuesta Industrial de Empresas 2012*, Instituto Nacional de Estadística (INE).
46. UNE 216501. *Auditorías Energéticas. Requisitos*, 2009, AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
47. UNE-EN 16247-1 *Auditorías energéticas. Requisitos Generales*, 2012, AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).
48. Kablan, M.M., M.A. Alhusein, and T.M. Alkhamis, *Electricity audit for the household sector of the capital city of Jordan, Amman*. Energy Conversion and Management, 1999. **40**(17): p. 1849-1861.
49. Farrel, M.J., *The measurement of productive efficiency*. Journal of the Royal Statics Society, Series A (General), 1957. **120**: p. 253-290.
50. Thien Thu, C.T., et al., *Manure management practices on biogas and non-biogas pig farms in developing countries – using livestock farms in Vietnam as an example*. Journal of Cleaner Production, 2012. **27**(0): p. 64-71.
51. Alcántara, V., P. del Río, and F. Hernández, *Structural analysis of electricity consumption by productive sectors. The Spanish case*. Energy, 2010. **35**(5): p. 2088-2098.

## 7 Anexos

# **ANEXO I. CUESTIONARIO DE CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA REMITIDO A LAS EMPRESAS PARTICIPANTES**

<b>GENERAL</b>	Breve descripción del proceso productivo desarrollado en la empresa						
	Alcance del estudio energético	Nº de plantas de producción		m² totales			
	Ubicación de la/s plantas de producción						
	Nº empleados						
	Horario de trabajo	Horas/día		Días/semana		Días/año	
	¿Existen residuos con posible valorización energética en alguno de sus procesos?			Volumen generado anualmente (indicar unidades)			
<b>FUENTES ENERGÉTICAS</b>	Potencia contratada (kW)						
	Tipologías de consumo						
	Electricidad		kWh/año	Coste total		€/ año	
	Gas Natural		m³/año	Coste total		€/ año	
	Gasóleo		litros/año	Coste total		€/ año	
	Propano		m³/año	Coste total		€/ año	
	Otras fuentes			Coste total		€/ año	
<b>EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA ELÉCTRICA</b>	Climatización	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Nº Equipos					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
	Frio Industrial	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Nº Equipos					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
	Iluminación	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
	Aire Comprimido	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Nº Equipos					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
	Hornos	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Nº Equipos					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
	Motores	Motores asociados a un sistema de bombeo	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)				
			Nº Equipos aproximado				
			Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)				
			Antigüedad medida de los equipos				
		Motores asociados a un sistema de ventilación/ extracción	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)				
Nº Equipos aproximado							
Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)							
Antigüedad medida de los equipos							
Otros usos		Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)					
		Nº Equipos aproximado					
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)					
		Antigüedad medida de los equipos					
Principales equipos asociados al proceso productivo no indicados con anterioridad	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)						
	Nº Equipos						
	Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)						
	Antigüedad medida de los equipos						

<b>EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA TÉRMICA</b>	<b>Calefacción</b>	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)	
		Nº Equipos	
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)	
		Antigüedad medida de los equipos	
	<b>Calderas de proceso</b>	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)	
		Nº Equipos	
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)	
		Antigüedad medida de los equipos	
	<b>Hornos</b>	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)	
		Nº Equipos	
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)	
		Antigüedad medida de los equipos	
	<b>Principales equipos asociados al proceso productivo no indicados con anterioridad</b>	Breve descripción de los equipos instalados (tipología, funcionamiento, etc...)	
		Nº Equipos	
		Potencia eléctrica total instalada aproximada (Indicar unidades)	
		Antigüedad medida de los equipos	

**Tabla 5:** Cuestionario de caracterización energética de las industrias participantes.

## **ANEXO II. RESUMEN DE LAS AUDITORIAS ENERGÉTICAS EN EMPRESAS DE LOS SECTORES ANALIZADOS**



## AGRICULTURA

**Empresa:** Agricultor a cuenta propia. **Persona de contacto:** Salvador Mainar Ruiz.

**Dirección:** Mediana de Aragón (Zaragoza)

El agricultor a cuenta propia objeto del estudio enmarca su actividad dentro del CNAE 01.1 y 01.2 “Cultivos no perennes” y “Cultivos perennes” respectivamente, siendo el sistema de agricultura que practica de tipo tradicional. Concretamente en la campaña del año 2009 los principales cultivos fueron trigo duro, alfalfa, avena y, en menor medida, maíz. El tractor de la explotación es de la marca DEUTZ-FAHR cuya denominación comercial corresponde a AGROTRON K 110 y posee una potencia de 119 CV. Este según la clasificación energética de los tractores vendidos en España realizada por el IDAE posee una calificación según gama nivel C. Uno de los factores que condiciona el consumo de gasóleo es el tipo, tamaño y regularidad de las parcelas de producción así como su distancia al garaje. En la imagen se observa una de las parcelas características de la explotación.



**Figura 9.** Estructura de las parcelas de la explotación.

En la explotación agrícola el total del consumo energético es consumido por el tractor y la cosechadora. El consumo en el tractor dependerá del tipo de actividad y apero utilizado siendo el promedio combinado para el tractor de la explotación de unos 10,5 l/hora de trabajo. De entre las actividades realizadas en el itinerario agrícola asociadas al tractor la que se muestra más intensiva en el consumo de energía es la labranza llegando a alcanzar hasta el 65 % del total, ya que incluye un mayor número de operaciones que además demandan una mayor cantidad de energía. Las medidas propuestas de aumento de los niveles de eficiencia energética identificadas en la explotación agrícola son las siguientes.

MEDIDAS PROPUESTAS						
Nº	ÁREA DE ACTUACIÓN	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/AÑO)	AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)	AHORRO DE EMISIONES (kgCO <sub>2eq</sub> )	COSTE (€)	PAY BACK (AÑOS)
1	ELECCIÓN DEL TRACTOR AGRÍCOLA	10.800	500	3.000	6.000	12 (SIN SUBVENCIÓN)
2	MEJORA EN LAS CONDICIONES DE LABOREO	7.000	300	1.950	0	0
3	MANTENIMIENTO DEL TRACTOR	2.700	250	1.600	---	---
4	ESTRUCTURA DE LA EXPLOTACIÓN	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO
	TOTAL	20.500	1.050	6.550	---	---

**Tabla 6:** Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones agrícolas

## GANADERÍA

**Empresa:** Hermanos Blasco S.C. **Persona de contacto:** Juan Luis Blasco

**Dirección:** C/ Extramuros, Mediana de Aragón (Zaragoza)

La empresa objeto del estudio enmarca su actividad dentro del CNAE 01.46 “Explotación de ganado porcino”. En concreto dentro del ciclo de explotación de ganado porcino la empresa realiza las fases de inseminación-gestación, lactancia y recría de los lechones. En su conjunto la explotación cuenta con una superficie total de 5.000 m<sup>2</sup>. Las zonas destinadas a la inseminación, lactancia y recría están ventiladas y únicamente la fase de lactancia posee además calefacción. En las instalaciones trabajan diariamente 2 personas durante todo el año existiendo un convenio de rotación semanal para los días de domingo.

El consumo predominante está originado por Electricidad con un 83 % frente al consumo de Gas Propano demandado exclusivamente en la calefacción de las naves de recría y que representa el 17 %. La energía consumida se emplea fundamentalmente en iluminación, calefacción y ventilación. Además se observa como el sistema de calefacción eléctrico tiene mayor peso que el de ventilación/refrigeración y que un centro de consumo que suele ser de importancia como es la iluminación, en éste caso no tiene una gran relevancia debido a la poca potencia instalada y sus horas de funcionamiento. Las medidas propuestas de aumento de los niveles de eficiencia energética identificadas en la explotación agrícola son las siguientes.

MEDIDAS PROPUESTAS						
Nº	ÁREA DE ACTUACIÓN	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/AÑO)	AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)	AHORRO DE EMISIONES (kgCO <sub>2eq</sub> )	COSTE (€)	PAY BACK (AÑOS)
1	MEJORA DEL NIVEL DE AISLAMIENTO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---
2	REGULACIÓN DE LOS EQUIPOS DE VENTILACIÓN	8.000	900	4.800	2.000	2,2
3	MEJORA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---
4	MEJORA DE LA EFICIENCIA EN LOS SISTEMAS DE ILUMINACIÓN	20 %	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---

**Tabla 7:** Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones ganaderas

## MUEBLES GRABAL

**Empresa:** Muebles Grabal **Persona de contacto:** José Ignacio Águila (Director de producción) **Dirección:** Avenida San José, 39-41. Cuarte de Huerva (Zaragoza)

La empresa objeto del estudio enmarca su actividad dentro del CNAE 16 de “Fabricación de muebles”. Concretamente fabrica mobiliario infantil y juvenil, destinando en torno al 95 % de sus productos al mercado nacional. En su conjunto, las instalaciones con consumo de energía asociado, tienen una superficie total construida de 13.200 m<sup>2</sup>, distribuida en 17 naves y un muelle de carga y descarga. Sólo las naves centrales y la zona de oficinas están calefactadas contando esta última también con refrigeración. En las instalaciones trabajan diariamente 133 personas repartidas en dos turnos, mañana y tarde. El horario del turno de mañana comprende desde las 5:45 hasta las 14:00 y el horario de tarde desde las 14:00 hasta las 22:15. Además existe un horario central para el personal de oficinas desde las 9:00 hasta las 14:00 y desde las 16:00 hasta las 19:00 aproximadamente.

La principal materia prima que la empresa utiliza para la elaboración de los productos es el tablero en bruto aglomerado de dimensiones 2,5 m x 2 m de diferentes grosores. Para ello, cuenta con diferentes centros de trabajo distribuidos principalmente en las naves 1 a 14. En cada una de ellas se agrupan máquinas con características similares y utilizadas en los diferentes procesos. El proceso productivo está compuesto principalmente por 4 etapas secuenciales: sierra, canteado, mecanizado y embalaje.

Sistema de aspiración del  
serrín



Tablero en bruto inicial

**Figura 10.** Estructura de las parcelas de la explotación.

La distribución porcentual, aunque siendo similares, el consumo predominante se debe a la Energía Eléctrica con un 58 % frente al consumo de Biomasa (serrín) demandado exclusivamente en la calefacción de las naves y que representa el 42 %.

El mayor consumo eléctrico (45 %) es debido a los accionamientos eléctricos específicos de las máquinas del proceso productivo, el resto (55%) se debe a los equipamientos horizontales. El reparto porcentual muestra la importancia del sistema de aire comprimido en este tipo de industrias necesario en gran número de accionamientos y que representa aproximadamente el 24 % de la energía eléctrica total consumida.

En el caso del consumo de energía térmica no existen demandas en el proceso productivo ya que el calor necesario es generado por las propias máquinas mediante resistencias

eléctricas por lo que toda la demanda se genera en la calefacción de las naves de producción existiendo únicamente un centro de consumo.

Las medidas propuestas de aumento de los niveles de eficiencia energética identificadas en la explotación agrícola son las siguientes.

RESUMEN DE MEDIDAS PROPUESTAS							
TIPO DE MEJORA	Nº	MEDIDA PROPUESTA	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/AÑO)	AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)	AHORRO DE EMISIONES (kgCO <sub>2</sub> eq)	COSTE (€)	PAY BACK (AÑOS)
MEJORAS ELÉCTRICAS	1	MEJORA EN LA EFICIENCIA DE LA ILUMINACIÓN MEDIANTE FLUORESCENTE T8 MEJORADOS	10.000	1.500	6.100	4.400	3
	2	MEJORA EN LA EFICIENCIA DE LA ILUMINACIÓN MEDIANTE FLUORESCENTE T5 Y BALASTO ELECTRÓNICO*	90.000	12.500	54.900	27.500	2,2
	3	MEJORA APROVECHAMIENTO LUZ NATURAL MEDIANTE CÉLULA FOTOELÉCTRICA**	29.000	4.000	2.400	3.500	0,9
	4	VARIADOR DE FRECUENCIA EN SISTEMA DE ASPIRACIÓN	40.000	5.500	24.400	4.500	0,8
	5	SUSTITUCIÓN DE COMPRESOR	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---
	6	OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO ***	2.900	400	1.800	0	---
MEJORAS TÉRMICAS	7	VALORIZACIÓN DEL RETAL GENERADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---
	8	AJUSTE DE LOS PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN CALDERAS	2-10 %	NO EVALUADO	0	0	---
	9	INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE GASIFICACIÓN	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---
	10	REDUCCIÓN DE LAS INFILTRACIONES	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	---

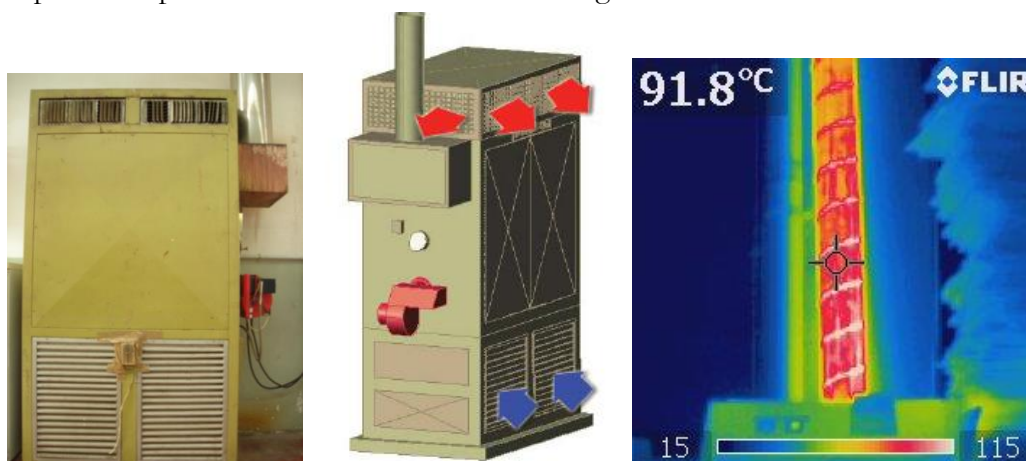
**Tabla 8:** Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones de la industria de fabricación de muebles de madera.

## FABRICACIÓN DE CALZADO. TOTALSHOES

**Empresa:** TOTALSHOES S.L. **Persona de contacto:** Pedro (Gerente) **Dirección:** Polígono El Arenal Nave 2 Zaragoza, Illueca.

La empresa objeto del estudio enmarca su actividad dentro del CNAE 15.20 de “Fabricación de calzados”. Concretamente fabrica y comercializa calzado para niño desde la talla 18 hasta la 34, especialmente en la modalidad de punteado. El 90 % de sus productos van dirigidos a la exportación. En su conjunto las instalaciones tienen una superficie total construida de 1.600 m<sup>2</sup>, distribuida en 3 zonas: producción, corte y almacén. Todas las naves están calefactadas y refrigeradas. En las instalaciones trabajan diariamente 45 personas de las cuales 42 realizan tareas vinculadas directamente con el proceso productivo y las 3 restantes ocupan puestos administrativos. El periodo de producción está acorde con las campañas de lanzamiento de producto. La primera de ellas corresponde a la campaña de invierno comenzando en Junio y finalizando a mediados de Octubre. La segunda pertenece a la campaña de verano para la cual la producción comienza en Diciembre y se extiende hasta mediados de Abril. Existe un único turno de trabajo en régimen de jornada partida siendo el horario de lunes a viernes de 8:00 a 13:00 y de 15:00 a 20:00 finalizando los viernes una hora antes. Dependiendo de las características del tipo de calzado trabajado los procesos realizados son: troquelado, lijado, costura y entrada en cadena de producción.

El consumo predominante está originado por Electricidad con un 68 % frente al consumo de gasóleo B demandado exclusivamente en la calefacción de las naves y que representa el 32 %. En el desglose económico por fuente de energía consumida el porcentaje de reparto varía significativamente a favor de un mayor coste de la Energía Eléctrica que aumenta hasta suponer el 86 %, disminuyendo correspondientemente el coste de Gasóleo B hasta el 14 %. El mayor consumo eléctrico (46 %) es debido a los accionamientos eléctricos específicos de las máquinas del proceso productivo, el resto (54%) se debe a los equipamientos horizontales. El reparto porcentual muestra la importancia del sistema de aire comprimido en este tipo de industrias necesario en gran número de accionamientos y que representa aproximadamente el 30 % de la energía eléctrica total consumida.



**Figura 11.** Detalle del sistema de calefacción de naves e imagen termográfica de la salida de humos por chimenea.

Las medidas propuestas de aumento de los niveles de eficiencia energética identificadas en la explotación agrícola son las siguientes.

RESUMEN DE MEDIDAS PROPUESTAS							
TIPO DE MEJORA	Nº	MEDIDA PROPUESTA	AHORRO ENERGÉTICO (kWh/AÑO)	AHORRO ECONÓMICO (€/AÑO)	AHORRO DE EMISIONES (kgCO <sub>2eq</sub> )	COSTE (€)	PAY BACK (AÑOS)
MEJORAS ELÉCTRICAS	1	SUSTITUCIÓN DE FLUORESCENTES	1.800	250	1.000	500	2
	2	MEJORA APROVECHAMIENTO LUZ NATURAL MEDIANTE CÉLULA FOTOELÉCTRICA	1.200	160	730	—	—
	3	INSTALACIÓN DE BALASTOS ELECTRÓNICOS	2.700	350	1.600	1.600	4,5
	4	VARIADOR DE FRECUENCIA EN SISTEMA DE EXTRACCIÓN	3.000	400	1.800	900	2,2
	5	OPTIMIZACIÓN SISTEMA AIRE COMPRIMIDO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	—
MEJORAS TÉRMICAS	6	AJUSTE DE LOS PARÁMETROS DE COMBUSTIÓN EN CALDERAS	4.200	200	1.100	NO EVALUADO	—
	7	REDUCCIÓN DE LAS INFILTRACIONES	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	NO EVALUADO	—
TOTAL			12.900	1.360	6.230	3.000	

**Tabla 9:** Medidas de Ahorro Energético identificadas en instalaciones de la industria de fabricación del calzado.

## **ANEXO III. BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS MEDIDAS DE AHORRO ENERGÉTICO IDENTIFICADAS**



## AGRICULTURA

### Tractor agrícola.

#### 1| Régimen del motor y relación de cambio

Trabajando a cargas elevadas, los consumos específicos más bajos de un motor diésel se registran cuando trabaja a un régimen próximo al de par máximo. El consumo del motor a igual potencia es mayor cuando el régimen de giro es elevado y el esfuerzo pequeño. Se deberá seleccionar el régimen de funcionamiento del motor para que trabaje en zonas de bajo consumo. Trabajar al 70-80% del régimen máximo del motor y con una caída de 150 a 200 r/min para los trabajos de tracción.

#### 2| Mantenimiento y regulación del motor.

Los tractores agrícolas consumen de un 10 a un 25% más de gasóleo si no se han realizado las labores correctas de mantenimiento. Debido al uso del tractor se acumulan sustancias en los filtros, desgastes y desajustes que hacen que se incremente el consumo de combustible. Principalmente este aumento de consumo es debido a la suciedad del filtro de aire e inyectores y la incorrecta regulación de la bomba de inyección. Es necesario en labores de mantenimiento mantener la limpieza del filtro del aire y del gasóleo, controlar y regular el circuito de combustible y utilizar lubricantes apropiados.

#### 3| Neumáticos, doble tracción y bloqueo diferencial.

En la transmisión de la potencia de la rueda al suelo es donde se producen mayores pérdidas de energía, es muy importante que la superficie de contacto de los neumáticos con el suelo esté en perfecto estado para asegurar mejor adherencia. En los trabajos de tracción se produce un incremento de consumo de combustible del orden del 15% debido a las pérdidas por rodadura y por patinamiento o deslizamiento, que dependen del peso del tractor, cuanto mayor es el peso del tractor mayor es la rodadura y disminuye el patinamiento. Pasar del 10% al 25% de patinamiento significa perder el 17% de la capacidad de trabajo y consumir más combustible. El lastrado del tractor se utiliza para evitar el patinamiento y realizar labores diferentes de tracción. Esto consiste en añadir peso al tractor para equilibrarlo y evitar el patinamiento. Para el caso de trabajos ligeros se utilizarán tractores de poca potencia y se suprimirán todos los lastres adicionales. Por tanto, un lastrado insuficiente como uno excesivo provoca un consumo excesivo de combustible.

Para controlar la rodadura y ahorrar combustible se controlará y ajustará la presión de inflado al trabajo de laboreo que se vaya a realizar, se adaptarán correctamente los aperos al tractor, se cambiarán los neumáticos desgastados y se utilizará el acelerador de mano. En general, y salvo en suelos muy secos, los neumáticos anchos, de baja presión y las ruedas gemelas reducen el consumo, prolongan la vida de los neumáticos y respetan la estructura del suelo. El neumático de tipo radial favorece la superficie de apoyo y el agarre en el suelo. Para ahorrar combustible de forma considerable combustible se utilizarán tractores con tracción a las cuatro ruedas frente a las de dos, consiguiendo un ahorro superior al 20%.

#### **4| Mantenimiento del motor**

El correcto funcionamiento de un tractor depende de la mezcla correcta entre el aire y el combustible en el cilindro. Para quemar un litro de gasóleo es necesario un volumen de aire de 12.000 litros. El filtro deberá limpiarse cuando esté sucio, antes de las horas de funcionamiento según el programa de mantenimiento, ya que el aumento del consumo se produce por el mal quemado del combustible. Un filtro de aire sucio en un 10 o 15% limita la cantidad de aire que pasa al motor provocando un incremento del consumo del 5 al 10%. Si el nivel de suciedad alcanza el 20% los consumos aumentan por encima del 22%. Para el caso del filtro para gasóleo, su misión es evitar la entrada de restos sólidos en la bomba e inyectores. La avería que ocasiona el paso de gasóleo sin filtrar es muy perjudicial.

Las averías más comunes son la inyección de poco o mucho gasóleo por mal estado de la bomba o de los orificios de los inyectores, la mezcla no se realiza correctamente por gotas muy gruesas de gasóleo, desajustes en la apertura o cierre de toberas que producen pérdidas de energía. Los inyectores deberán revisarse cada 1.000 horas y cambiarse y regular el momento de inyección respecto a la apertura de válvulas cada 5.000 horas.

#### **5| Organización, control y gestión del trabajo**

La correcta gestión del trabajo mediante organización de recorridos, realización de labores, marcado de pasadas, estructura de parcelas y forma de hacer cabeceras, ayudan a ahorrar combustible. Según la distancia y número de recorridos el ahorro puede variar del 10 al 15 %. Para este tipo de control existen unos sistemas electrónicos que permiten obtener un mejor rendimiento de los trabajos, gestionar el trabajo realizado por el tractor y el apero y controlar el trabajo del tractor. Diferentes aspectos de la estructura de una explotación tienen influencia en el consumo del combustible. Estos pueden ser:

- Forma y regularidad de la parcela. Las mayores pérdidas se tienen cuando las parcelas tienden a ser más cuadradas e irregulares y están muy relacionadas con el tamaño de las parcelas y con el tamaño de la explotación.
- Entre parcelas rectangulares bien proporcionadas y las irregulares se puede ahorrar unos 3 l/ha de combustible.
- Distribución de la parcela. El hecho de que una parcela se encuentre concentrada o dispersa tiene influencia en el consumo de combustible, de tal manera que para parcelas medias de 3 ha, el coste en consumo de los desplazamientos puede estimarse en torno a 0,5-0,6 l/ha por cada km que nos alejamos del garaje de la explotación (sin incluir la recolección).
- Tamaño de la explotación. En función del sistema de laboreo para parcelas y agrupaciones de parcelas de mayor superficie se pueden conseguir, dependiendo del sistema de laboreo, ahorros energéticos de 1,7 l/ha en el laboreo tradicional, 1,0 l/ha en el laboreo reducido y de 1,2 l/ha con la siembra directa.

## Agricultura de conservación

### 6, 7 y 8 | Realización del Sistema de Laboreo más adecuado

Existen diferentes sistemas de laboreo y cada uno de ellos es susceptible de conseguir ahorros en combustible dependiendo de los aperos utilizados y otros diferentes aspectos relacionados con el terreno y el cultivo.

Para conseguir ahorros en el laboreo primario se debe tener en cuenta:

- En los arados de vertedera el consumo de combustible se puede reducir teniendo en cuenta:
- Hacer la labor con suficiente humedad en el suelo y a una profundidad de 15 a 25 cm.
- Trabajar con el tractor a una velocidad adecuada, entre el 60 y el 80% del régimen nominal.
- La potencia del tractor debe estar compensada con el apero porque si éste es pequeño se deberá cambiar por uno mayor, añadirle más anchura o si no trabajar a más velocidad.
- Correcto enganche, buen mantenimiento del arado y control de la profundidad, aseguran una labor más homogénea y con menor coste.
- Los arados de cohecho necesitan menor potencia que el tradicional, 10 CV menos por cuerpo. Además de que puede trabajar a mayor velocidad y al realizar la labor más superficial el consumo de combustible disminuye de 5 a 10 l/ha.

El consumo del chisel puede oscilar de 10 a 18 l/ha, teniendo en cuenta una profundidad de trabajo de 13 a 15 cm, un 60% menos que la vertedera. En zonas semiáridas o áridas donde las producciones de cereal están por debajo de los 3000 kg/ha, es necesario disminuir las labores y reducir los costes de laboreo, por tanto se realizará la siembra de cereales con mínimo laboreo o siembra directa, ya que son más baratas, más rápidas y el ahorro de combustible es de 10 a 15 l/ha respecto a la vertedera. Para reducir el consumo de combustible en la realización de las labores secundarios con los correspondientes aperos es necesario:

- Buen tempero del suelo.
- Profundidad de trabajo recomendada de 6 a 10 cm.
- Correcto mantenimiento (cambio de dientes rotos o desgastados).
- Utilización de rodillos o ruedas para controlar la profundidad de trabajo.
- La velocidad de trabajo recomendada es de 4 a 7 km/h.

La velocidad de la siembra debe de ser de 5 a 9 km/h, siendo poco interesante el ir a menor velocidad, ya que se empeora la calidad de la siembra y el ahorro de combustible es mínimo.

Actualmente la agricultura de conservación es una alternativa a la agricultura tradicional desde el punto de vista energético, medioambiental y económico.

Esta técnica consiste en la eliminación del laboreo, con lo que se consigue mantener una cubierta vegetal con los restos del cultivo anterior que lo protege frente a la erosión y lo

nutre de modo natural, además de mejorar activamente a la cosecha a través de la presencia de microorganismos y fauna. Los ahorros energéticos que se pueden llegar a alcanzar oscilan entre el 10 y el 50% según la región y el cultivo que se considera. Además de mejorar la eficiencia energética en la producción, incrementándose un 10% en el peor de los casos y un 100% en el mejor de los casos. Otro de los aspectos que se mejoran son la eficiencia en el uso del agua, llegando a suponer un 10% de ahorro de agua, además de reducirse la contaminación de aguas debido al controlarse casi el 90% del arrastre del suelo y los contaminantes que se encuentran en él.

Las principales prácticas de la agricultura de conservación son: la siembra directa que consiste en no realizar labores y la siembra se realiza con maquinaria habilitada para sembrar sobre el rastrojo del cultivo anterior, diferente de la empleada para laboreo convencional. Otra de las prácticas es el mínimo laboreo en agricultura de conservación, que conlleva un menor grado de conservación que la siembra directa, pero aún así es una práctica más respetuosa con el medio ambiente que la opción convencional. Para este caso es importante contar con dispositivos picadores y/o esparcidores de la paja en la cosechadora y la utilización de algunos aperos que permiten obtener un porcentaje de cobertura de suelo aceptable para un sistema de manejo de conservación, tales como son el arado plano o descompactador, para suelos con tendencia a la compactación, y cultivadores y vibrocultivadores para preparación del lecho de siembra. En el caso de las sembradoras pueden ser de siembra directa o sembradoras convencionales. Existe otra técnica para cultivos leñosos que consiste en cultivar cubiertas vegetales entre las hileras de los árboles, protegiéndoles frente a la erosión hídrica de la lluvia. Según el tipo de cubierta y el manejo que se vaya a hacer de la misma se requerirá una maquinaria u otra: para cubiertas vegetales vivas controladas con siega química es necesario contar con una barra de aplicación de fitosanitarios, también serán necesarios equipos pulverizadores portátiles. Para cubiertas vegetales vivas controladas mediante siega mecánica, es necesario disponer de una desbrozadora que trocee y disperse la cubierta y para cubiertas constituidas por restos de poda se necesita una picadora autoalimentada o de alimentación manual. Habría que tener en cuenta que las operaciones para agricultura de conservación y cubiertas vegetales pueden variar de un lugar a otro, o de una campaña a otra. En cambio para la siembra directa se presenta menor variabilidad en cuanto a labores practicadas.

Todos los cultivos bajo agricultura de conservación consumen menos energía que los cultivos con laboreo convencional, la diferencia disminuye a medida que aumenta la cantidad de fertilizante que se aplica al cultivo, suponiendo más del 50% en el caso de los cereales. No obstante, dependiendo del tipo de cultivo se tienen unos u otros ahorros. Para el caso de los cultivos herbáceos la siembra directa es la práctica que mayores reducciones de consumo de energía provoca. Oscilan entre un 5,93% para el caso del maíz cultivado en el norte de España debido al gran número de tratamientos fitosanitarios realizados comparados con el laboreo convencional, y un 13 y un 45% para los cultivos cerealistas, dependiendo de la zona que se considera, los máximos ahorros se dan en Navarra. Para el caso del girasol se alcanzan valores de un 60,45%, por la disminución del número de labores y por las menores aplicaciones de fertilizantes. Para el caso de mínimo laboreo los ahorros que se consiguen no son tan altos como con siembra directa, consiguiendo ahorros de un 3% para el maíz a un 26 % para los cultivos de cereales de invierno, respecto a la agricultura tradicional. Y por último, para el caso de las cubiertas vegetales en cultivos leñosos el hecho de no realizar labores entre calles de las plantaciones hace que se alcancen reducciones energéticas entre un 4% y un 17% respecto a las prácticas convencionales, ya que existe un considerable gasto energético para el manejo de la cubierta vegetal. Los

consumos de gasóleo son una parte fundamental de los consumos energéticos totales, correspondiendo a las operaciones realizadas en las prácticas de laboreo y por otro lado el principal responsable del ahorro energético que se da en dichos sistemas, tal y como se muestra en la tabla siguiente los consumos de gasóleo siguen un paralelismo a los valores de consumo energético total analizado anteriormente.

En cuanto al consumo de gasóleo, en siembra directa se consiguen reducciones desde un 35% para el cultivo de cebada hasta un 66% para el cultivo de girasol. Si se compara con la agricultura convencional, la siembra directa puede llegar a suponer ahorros de combustible de hasta un 50%. En el caso del mínimo laboreo en agricultura de conservación, los ahorros en consumo de combustible son menores que en el sistema de siembra directa. En cualquier caso se pueden obtener una reducción en el consumo de combustible de superior al 30% respecto a la agricultura convencional. En cualquier caso hay que tener en cuenta que el ahorro de energía en un cultivo no debe ir acompañado de una pérdida de producción porque conllevaría la necesidad de utilizar mayor superficie para obtener la misma cantidad de producto y por tanto gastar en términos absolutos más energía.

## Sistemas de riego

### 9| Empleo de motores de alta eficiencia

El menor rendimiento de los motores antiguos frente a los actuales puede hacer aconsejable su sustitución. Los motores viejos con muchas horas de funcionamiento (más de 6.000 horas al año) o bien que trabajen en condiciones extremas de humedad, temperatura, suciedad, etc. es probable que disminuyan notablemente su eficiencia nominal. En estos casos, resulta interesante medir su rendimiento actual por medio de analizadores de redes que permitan obtener el voltaje, la intensidad y el factor de potencia.

Con estos datos, y después de haber estudiado el estado de los sistemas de accionamiento del motor, se puede analizar la posibilidad de reemplazar los viejos motores por otros de alta eficiencia. La denominación internacional para clases de eficiencia de motores es: IE = Internacional de Eficiencia.

Dependiendo de su eficiencia energética, los motores eléctricos en la gama de potencias de 0,75 kW a 375 kW se clasifican según la IEC 60034-30:2009 de la siguiente manera (en esta clasificación desaparece la calificación EFF3 otorgada a los motores estándar por su bajo rendimiento).

- IE3: Motores de eficiencia superior. Reducen las pérdidas un 15% respecto a la clase de motores IE2.
- IE2: Motores de alta eficiencia (comparable a la calificación EFF1 de la antigua clasificación). Reducen las pérdidas de energía por encima del 40%. Estos motores están especialmente indicados para aplicaciones de velocidad constante, trabajo a plena carga y muchas horas de funcionamiento al año.
- IE1: Motores de eficiencia estándar (comparable a la calificación EFF2 de la antigua clasificación).

Los motores de alta eficiencia son por lo general hasta un 20% más caros que los motores estándar, pero suponen un menor coste de operación debido a su mayor eficiencia energética (puede superar el 5%). La diferencia se acentúa más cuando el motor funciona a cargas parciales. Estos motores tienen una vida útil mayor (alrededor de 15 años). La inversión puede amortizarse en muchos casos en menos de 1 año. Además presentan la ventaja de ser más robustos, lo que disminuye la necesidad de mantenimiento y aumenta la vida útil. La instalación de motores de alta eficiencia está especialmente recomendada para motores entre 10 CV y 75 CV cuando operan más de 2.500 horas anuales, en motores de menos de 10 CV o de más de 75 CV cuando superan las 4.500 horas de funcionamiento. Con ello, el ahorro puede oscilar entre el 2 y el 10% del consumo de un motor estándar.

### 10| Evitar sobredimensionamiento de bombeos

Es necesario evitar el sobredimensionamiento de los bombeos, empleando sistemas de telegestión y variadores de frecuencia que permitan lograr caudales y presiones acordes con la necesidad real. Para ello una práctica recomendable es el diseño y montaje de bombas de pequeña potencia que entran en cascada según la demanda para que los equipos se ajusten al máximo a los requerimientos de la comunidad, haciendo que la estación funcione eficientemente.



## **11 | Automatización de las estaciones de bombeo**

El control de las estaciones de bombeo a través de la regulación mano-caudalimétrica, permite ajustarse a la curva de consigna dinámica de la red y es la que mejor regula el consumo energético de las estaciones de bombeo. Con ello se consigue regular el régimen de las bombas de manera que se mantengan las presiones de consigna en determinados puntos de la red. Para ello se instalan sondas de presión en los puntos críticos, de manera que estas sondas envían información a los autómatas programables, los cuales actúan sobre el régimen de las bombas. Si la presión a la que se encuentran sometidos está por encima de su valor de consigna, no se envía información al bombeo para que incremente su régimen de funcionamiento. Cuando la demanda de caudal en la zona de influencia de cada punto crítico aumenta, la presión empezará a disminuir y para mantenerla a su nivel de consigna el autómata actuará sobre el dispositivo que regula el régimen de las bombas, de forma que éstas desplazan su punto de funcionamiento hasta que la presión se estabiliza en su nivel de consigna. Si la demanda de caudal disminuye, la presión en los puntos críticos medida por las sondas aumentará y el automatismo, regulará el régimen de las bombas hasta que la presión vuelva a su nivel de consigna. Existe otro tipo de regulación llamada manométrica, donde la sonda se coloca en el colector de impulsión de la estación de bombeo. La señal de accionamiento de las bombas se da cuando aumenta la demanda de caudal en la red, pudiéndose dar el caso de que los puntos favorables reciban excesos de presión para demandas de caudal pequeñas y lo contrario para demandas de caudal altas. Este tipo de regulación es el que ocasiona mayor consumo energético y que peor se ajusta a las necesidades de agua.

## **12 | Instalación de variadores de velocidad y arrancadores estáticos**

Mediante la instalación de variadores de velocidad se puede reducir la potencia absorbida por la bomba en los períodos de menor demanda de caudal. Esta forma de regular el caudal es más eficiente que la regulación mediante el estrangulamiento de la válvula. El funcionamiento de una estación de bombeo en la que hay al menos una bomba regulada por un variador es más eficiente, siempre y cuando el régimen de trabajo de la bomba se encuentre dentro de un rango determinado.

Los variadores de frecuencia son dispositivos que permiten variar la frecuencia de la alimentación al motor o bomba y por lo tanto modificar su velocidad para adaptarla a la demanda instantánea del proceso a que da servicio. Los variadores de frecuencia también pueden reducir el pico de intensidad en el arranque, además de permitir ajustar el punto de funcionamiento.

Éstos motores trabajan a una velocidad fija cuando se conectan directamente a la red eléctrica, pero están perfectamente preparados para trabajar a velocidad variable si se alimentan mediante un variador de frecuencia. Es por ello que existe un gran potencial de ahorro de energía al variar el par entregado con el cuadrado de la velocidad y la potencia con el cubo, por lo que reduciendo la velocidad de giro del eje del motor a la carga se consigue una gran disminución en la potencia absorbida. Se calcula que es posible obtener un ahorro entre el 8 y el 20 % según la instalación.



# GANADERÍA

## **1| Ahorro en ventilación y refrigeración**

Para evitar el derroche energético en ventilación se deben ajustar los caudales mínimos de renovación, para ello, la tensión correspondiente a los caudales mínimos de los reguladores debe ajustarse a valores entre 75 y 220 voltios. De esta manera se evita el recalentamiento del motor del ventilador monofásico y se mejora la eficiencia del mismo. Para el caso de instalaciones grandes y con gran cantidad de volumen a trasladar es recomendable utilizar ventiladores trifásicos de gran caudal, pero acompañados de variadores de frecuencia, en el caso que se quiera regular el caudal, este tipo de ventilador para mover el mismo caudal de aire consume del orden de un 40 a un 45% menos de energía. Para contribuir al ahorro de energía a través de la regulación es muy conveniente utilizar sistemas informáticos, su funcionamiento se basa en el control de caudales de ventilación acordes con la calefacción y combinación de la ventilación natural a través de ventanas y la dinámica, cuando la calidad del aire exterior lo permite.

## **2| Sustitución de la fuente energética en los equipos de generación de calor.**

En calderas que utilizan como combustible productos petrolíferos se recomienda su sustitución por gas natural, combustible que presenta en su combustión una mayor eficiencia energética y menores emisiones de CO<sub>2</sub> que los productos petrolíferos suponiendo un ahorro energético en combustible de aproximadamente un 3 %, aún mayor si se considera los mayores rendimientos que se obtienen con calderas como las de condensación que utilizan este tipo de combustible. Además, se estima que la combustión de 1 kWh de gasóleo C emite 0,29 kg CO<sub>2eq</sub>, mientras que 1 kWh de gas natural emite 0,21 kg CO<sub>2eq</sub>, por lo que el cambio de combustible supone una disminución del 27% de las emisiones (datos obtenidos de SimaPro 5.1).

Por otro lado, en el caso de utilizar como fuente energética la electricidad, se estima que la energía primaria necesaria para la producción de 1 kWh, implica la emisión de 0,54 kg CO<sub>2eq</sub>, cifra que supone 2,5 veces las emisiones debidas al gas natural. En términos de coste energético, debido al mayor coste unitario que representa la electricidad frente al gas natural, el ahorro económico en el caso de utilizar esta fuente energética es aún mayor ya que el coste de una unidad energética medida en €/kWh en el caso de la Electricidad es de aproximadamente 0,12 frente a los 0,04 para el gas natural.

Otra opción a contemplar en cuanto a cambio de combustible es la utilización de un elemento renovable como es la biomasa. Esta puede alimentar un sistema de calefacción igual que se realiza con gas o gasóleo. Actualmente, existen una gran variedad de biocombustibles sólidos que pueden ser utilizados entre los que destacan: pellets, astillas, huesos de aceitunas, cáscaras de frutos secos, etc. Como ventajas la calefacción mediante biomasa, es respetuosa con el medioambiente, no genera olores, ni escapes peligrosos. Su operación y mantenimiento es sencillo con sistemas de control electrónico para su manejo. La limpieza de las cenizas generadas es prácticamente automática, sólo es necesario el vaciado del depósito de cenizas. Dependiendo de la calidad de la caldera y del combustible utilizado, la cantidad de ceniza que se llega a generar es del 1% de la cantidad de biocombustible consumido. Eso hace que la retirada de las cenizas se haga con escasa

frecuencia. Este tipo de calderas son de gran resistencia al desgaste, tienen larga vida útil y son muy silenciosas ya que prescinden de un quemador para pulverizar el combustible y tienen un alto rendimiento, entre el 85-92%. El inconveniente más claro, es el espacio requerido para el suministro de combustible ya que no existe una red de distribución demasiado extensa. La biomasa contribuye a la conservación del medioambiente ya que las emisiones a la atmósfera son menores por su bajo contenido en azufre, nitrógeno y cloro pero la mayor ventaja es el balance neutro de CO<sub>2</sub>. Según el Plan de Energías Renovables 2005-2010, las emisiones evitadas de CO<sub>2</sub> son de 1.788.326 toneladas. Las instalaciones con biomasa generan un ahorro económico, derivado del menor coste del combustible utilizado, superior al 15% respecto al uso de combustibles fósiles, con un retorno de inversión de 5 a 10 años que variará en función de la cantidad de energía consumida anualmente y la posibilidad de acceso a las subvenciones existentes para su fomento.

### **3| Mejoras en la eficiencia de los sistemas de iluminación.**

#### **SUSTITUCIÓN DE LÁMPARAS FLUORESCENTES.**

Actualmente existen en el mercado diferentes tecnologías que permiten reducir el consumo en la iluminación fluorescente. Principalmente se basan en:

- Fluorescentes de la gama T5 (16 mm de diámetro): permiten ahorrar más de un 20 % de energía con respecto a la gama T8.
- Fluorescente de la gama T8 y T5 (26 mm y 16 mm de diámetro respectivamente) de eficiencia mejorada: permiten ahorrar más de un 10% de energía con respecto a la gama estándar.
- Iluminación de tubos con tecnología Led: reducen la potencia instalada por punto de luz en al menos un 40 % respecto a los fluorescentes estándar.

#### **SUSTITUCIÓN DE BALASTOS.**

En la eficiencia energética de un sistema de iluminación deben considerarse en conjunto tanto la lámpara como el sistema auxiliar necesario. Así como las lámparas incandescentes por lo general no necesitan equipos auxiliares para funcionar, a excepción de los halógenos de baja tensión que necesitarán un transformador que adecue la tensión de red a la de alimentación, las lámparas fluorescentes sí que lo precisan. De los equipos auxiliares que precisan este tipo de lámparas, los que tienen una incidencia directa sobre el ahorro energético son los balastos, cuya potencia habrá que sumar a la potencia de la lámpara en cuestión y que es sensiblemente menor en el caso de los balastos electrónicos, por lo que su utilización induce un importante ahorro energético durante el funcionamiento normal de la lámpara. es recomendable cambiar los balastos electromagnéticos por balastos electrónicos, ya que el cambio supone un ahorro aproximado del 15 – 25 % de energía consumida por estos equipos, aumenta la duración de la vida de las lámparas asociadas, elimina los molestos parpadeos y facilita la instalación y el mantenimiento ya que un sólo equipo hace las funciones de balasto, cebador y condensador.

#### **REGULACIÓN Y CONTROL DE LA ILUMINACIÓN**

Una adecuada instalación debe iluminar con la intensidad necesaria, en la zona precisa, durante el tiempo que sea necesario. Es frecuente encontrar espacios iluminados por

encima de las necesidades y en momentos en los que no se está desarrollando ninguna actividad en ellos, tal es el caso de zonas de paso poco transitadas, aseos, etc. Para evitar el consumo innecesario ocasionado en estas situaciones se pueden adoptar una serie de medidas:

#### **Sectorización de la iluminación:**

En primer lugar debe permitir la conexión parcial de cierto número de luminarias, colocadas de manera tal que proporcionen el flujo luminoso requerido cuándo se está dando una ocupación parcial de la zona. Si no se dispone de sistemas automáticos de regulación de iluminación artificial en función del aporte de luz natural, la sectorización debe permitir la desconexión por separado de las luminarias más próximas a ventanas y lucernarios, así como permitir la conexión parcial de las luminarias, cuándo existe un aporte de luz natural. Como regla a seguir en estos casos, el número de interruptores manuales existentes para el control del alumbrado de local o sala, no debe ser menor a la raíz cuadrada del número de luminarias instaladas.

#### **Aprovechamiento de la iluminación natural-regulación de la iluminación artificial:**

Principalmente se trata de fotocélulas (sensores de luz) que colocadas habitualmente en el techo miden la cantidad de aporte de luz natural en el interior de la sala, ajustando automáticamente el aporte de la luz artificial necesaria para la correcta realización de la tarea en cuestión. Lo más recomendable es la instalación de un sistema de regulación progresiva, mediante el cual la iluminación se va ajustando progresivamente según el aporte de luz natural hasta alcanzar el nivel de luz prefijado, aunque también existen los de regulación todo/nada. Usando este tipo de aplicaciones se puede conseguir un ahorro de energía de hasta el 75 % respecto de un sistema sin control permanentemente conectado.

#### **Regulación y control mediante un sistema de gestión centralizado:**

Un sistema centralizado permite controlar el conjunto de la iluminación desde un punto central de control. Su funcionamiento corresponde a un nivel superior de regulación siendo necesaria la instalación de los dispositivos usuales para que las personas mantengan el control del sistema, por lo que en cada estancia existirán pulsadores para encender, apagar y regular los circuitos de iluminación. El sistema está compuesto de los elementos descritos en los apartados anteriores (interruptores, sensores de presencia, sensores crepusculares, balastos electrónicos regulables...), incorporando además sistemas de desconexión programada relojes temporizados todo ello integrado en un pequeño autómata de gestión. Con ello es posible crear diferentes escenas de iluminación y asegurar la desconexión de la iluminación fuera del horario lectivo y de uso de un centro docente reduciendo por tanto el consumo en stand-by.

### **4| Mejoras en calefacción y asilamiento de naves**

La calefacción se emplea de modo puntual y localizado, y se puede considerar como una práctica imprescindible ya que tienen un menor consumo y son sistemas de producción de calor más eficientes. La utilización de un sistema de aislamiento correcto implicaría una disminución de las pérdidas de calor en tiempo frío y por tanto una reducción de las necesidades de calefacción.

La primera medida a considerar es aislar correctamente la nave donde se encuentran los animales con el fin de reducir las pérdidas de calor y reducir las ganancias, dependiendo de

si es invierno o verano. Un edificio mal aislado proporciona un ambiente agresivo para los elementos del edificio y nocivo para el ganado debido a que favorece la presencia de altas concentraciones de diferentes gases producidos por el ganado y sus residuos. Para ello es importante cuidar el aislamiento de las cubiertas y el sellado de juntas entre cubierta y paramento vertical. Por otro lado hay que prestar especial atención al aislamiento de la cubierta, ya que el 70% de las pérdidas de energía se produce a través de la misma.

Los tipos de calefacción más empleados son:

- aerotermos o tubos de agua caliente para calefacción ambiente,
- calefacción por radiación a través de radiadores eléctricos,
- calefacción en suelo por placas eléctricas o de agua caliente,
- calefacción localizada o por radiación a través de radiantes infrarrojos de gas, llamados campanas o pantallas que pueden funcionar individualmente o todos conjuntamente,
- calefacción ambiental o por convección mediante generadores de calor de gasóleo o gas.

Los sistemas de calefacción localizados tipo pantallas, tienen un menor consumo y son sistemas de producción de calor más eficientes.

Igualmente importante que el sistema de generación, es el sistema de distribución. En este sentido, y para aquellas naves que necesitan calefacción, es recomendable la utilización de un sistema de calefacción por suelo radiante, ya que, debido a las características estructurales habituales de las naves industriales, los sistemas convencionales de distribución no son adecuados, pues hacen que se produzca una estratificación importante de temperaturas y consecuentemente un consumo innecesario de energía. Cualquiera que sea el sistema de calefacción existente, es fundamental la utilización de dispositivos de control y regulación, que permiten adecuar el funcionamiento del equipo a las condiciones ambientales exteriores e interiores, mejorando el confort de los animales y pudiendo obtener ahorros de energía en calefacción de hasta el 20%. Además, mediante correctos hábitos de uso se pueden lograr ahorros significativos con coste nulo, como por ejemplo:

- Establecer unas temperaturas de consigna adecuadas.
- Utilizar juntas elásticas en las uniones y sellar las juntas de ventanas y puertas y elementos de ventilación.
- Instalar persianas aisladas para proteger los ventiladores parados.
- Reducir infiltraciones.
- Efectuar revisiones a los equipos de calefacción y del estado de los quemadores en particular. Comprobar fugas y llevar a cabo reparaciones.

Con el buen mantenimiento se puede ahorrar hasta un 5% de combustible y reducir emisiones de contaminantes. Así mismo es posible implantar otra serie de medidas más específicas que pueden proporcionar ahorros significativos, como la recuperación de calor en los conductos de calefacción (recuperación de calor de extracción) o el aprovechamiento de fluidos, gases o aire caliente residuales procedentes de algún proceso de refrigeración de la leche.

## **5| Implantación de sistemas de refrigeración evaporativa.**

Por otro lado la refrigeración en el sector porcino y avícola, es necesaria para categorías como gestación o cebo. En el caso de emplear sistemas de refrigeración, el coste energético no se reducirá comparado con el de ventiladores y/o extractores de aire, ya que estos sistemas están constituidos por equipos de nebulización o paneles humectantes con circuitos cerrados de agua, con un reducido coste asociado.

En este sentido la refrigeración evaporativa consiste en evaporar agua en el ambiente para conseguir un descenso de temperatura del aire. Este proceso se produce espontáneamente en la naturaleza. Cuando se evapora agua, el cambio de estado de fase líquida a gaseosa requiere gran cantidad de energía, 540 calorías por gramo de agua. Esta energía la cede el aire que está en el entorno donde se produce la evaporación. Al ceder energía el aire se enfría y el vapor de agua pasa a formar parte de la masa de aire, que eleva su humedad (o vapor de agua). Para que un proceso evaporativo tenga éxito, es importante que la superficie de transferencia del agua y el aire sea lo mayor posible. Gracias a la pulverización a alta presión, se consigue atomizar el agua en gotitas de 10 micras. Teóricamente 1 litro de agua atomizada en gotas de 10 micras de diámetro, tiene una superficie de intercambio de 600 m<sup>2</sup>. Estas gotas están un tiempo en suspensión hasta que se evaporan en el aire del ambiente. Cuanta más agua se evapora, más desciende la temperatura. Lógicamente la efectividad y el diseño del sistema se verán afectados por las condiciones iniciales de temperatura y humedad relativa, pudiendo llegar a reducir la temperatura hasta 12° C, sin provocar un aumento significativo de la humedad. La reducción del consumo de energía es importante ya que no se cuenta con el principal equipo de consumo eléctrico del sistema habitual como es el compresor.

## **6| Contabilidad energética**

En la mayoría de las instalaciones se puede conocer el consumo global de energía. Este consumo global no es suficiente para saber si la energía está siendo bien administrada. Es necesario conocer los consumos de equipos similares y en situaciones análogas para saber discernir si una elevación en el consumo se debe a un mal uso o funcionamiento de algún equipo. Un examen detallado de la utilización de la energía puede también servir de estímulo para aumentar la eficiencia general de la instalación.

La finalidad es tener una herramienta de consulta fácil y rápida para la dirección que permita hacer un seguimiento continuado para detectar posibles desviaciones o anomalías asociadas con determinados problemas de forma que se puedan encaminar de nuevo en plazos cortos de tiempos. Permitiría con ello además, el minimizar los costes derivados del mantenimiento correctivo.

La gestión de esta información medida y las actuaciones correctoras subsiguientes puede realizarse mediante sistemas automáticos que incorporen los necesarios actuadores en campo, sistemas de control distribuidos en las zonas adecuadas de la planta (tales como PLC o similares), un bus de comunicación y un sistema de supervisión y control tipo SCADA, con su sistemas de adquisición de datos, software de gestión y visualización, control automático de acciones, avisos y alarmas, históricos, etc.

Un sistema como el descrito, convenientemente dimensionado, implantado y programado para actuaciones automáticas o alarmas críticas, puede dar unos beneficios inmediatos, no sólo para la gestión energética, sino para la operación y seguridad de los sistemas.

## **7| Automatización de procesos**

Mediante la automatización de procesos se puede realizar un control más racional de los mismos. Esto presenta una serie de ventajas tanto desde el punto de vista energético, como operativo, de mantenimiento y de calidad del producto final. El control automático permite trabajar a los equipos del proceso lo más cerca posible del punto óptimo de rendimiento.

De manera general, la automatización de las operaciones realizadas en el interior de los fulones genera una serie de ventajas como la regularidad, control, parámetros de calidad constantes, que además inciden en un ahorro de agua y energía. No obstante, dado que muchas plantas son artesanales y semiartesanales, esta medida no se encuentra dentro de las posibilidades de inversión. Las medidas anteriores son medidas de ahorro y eficiencia aplicables en principalmente sobre tecnologías horizontales. Al ser una actividad la de curtiduría altamente contaminante, existe una gran variedad de medidas relacionadas con el control y prevención de la contaminación y relativas a procesos concretos en el documento BREF “Curtidos” (Documentos de Referencia de Mejores Técnicas Disponibles), que recogen los aspectos fundamentales de los procesos de producción y de los problemas ambientales asociados, y en guías de Mejores Técnicas Disponibles (MTD), elaborados desde el Ministerio de Medio Ambiente, siguiendo las pautas de los BREF. Para la actividad de fabricación de calzado no existe ninguna de las anteriores guías de referencia, al tratarse de una actividad con poca repercusión medioambiental



## CUERO Y CALZADO

### 1 | Optimización del funcionamiento de calderas.

Para el sector de curtido de pieles, el consumo térmico en calderas para la producción de agua caliente o vapor de proceso a baja presión puede disminuirse aplicando medidas para la optimización de las condiciones de funcionamiento.

Uno de los parámetros más importantes para evaluar el funcionamiento de una caldera es su rendimiento. Para evaluar el rendimiento es necesario disponer de un analizador de gases de combustión que proporcione la concentración en gases de  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$  y la temperatura de los gases, así como un termómetro de superficie para medir la temperatura de las paredes de la caldera. Los valores adecuados de  $O_2$ ,  $CO$  y temperatura de gases dependen del tipo de combustible y quemador utilizados y del tamaño de la caldera. Para conocerlos, debe consultarse el manual de instrucciones del equipo o contactar con el fabricante. Si los valores obtenidos no se corresponden con los recomendados, la caldera no está funcionando correctamente y puede ser debido a pequeños desajustes que pueden resolverse con un adecuado mantenimiento:

- Valores de  $O_2$  bajo y  $CO$  alto indican que la cantidad de aire de combustión es insuficiente. Esto suele verse reflejado en el color negruzco de los humos que salen por la chimenea. Para nivelar estos valores no hay más que aumentar la compuerta de paso de aire del quemador.
- Pero unos humos claros y una concentración de  $O_2$  elevada no aseguran de por sí un buen funcionamiento. Podría estar utilizándose una cantidad excesiva de aire, por lo que se estaría empleando una excesiva cantidad de energía en calentar el aire de combustión introducido en exceso, impidiendo su aprovechamiento para la calefacción. En este caso debería disminuirse la compuerta de paso del aire hacia el quemador.
- El color oscuro de los humos puede implicar también un desajuste en la mezcla aire-combustible debido a una pulverización insuficiente del combustible. En este caso la concentración de  $O_2$  que marque el analizador será igual o superior al valor recomendado. Otros motivos pueden ser la mezcla no homogénea de combustible y aire o un tiro insuficiente. Si se emplean combustibles líquidos o sólidos, es necesario realizar una regulación y limpieza de los quemadores para obtener una buena pulverización. El ahorro de combustible obtenido con una buena regulación de la combustión puede llegar a suponer entre el 5-7% del consumo total del equipo.
- Una temperatura superficial de la caldera demasiado alta (superior a  $35^\circ C$ ) indica un defecto en el aislamiento del equipo. Para reducir las pérdidas de energía por las paredes hay que revisar los refractarios y aislamientos de las superficies calientes, aumentando su espesor o eligiendo otro tipo si fuera necesario. Las pérdidas de calor a través de las paredes pueden reducirse hasta un 70-80%, lo que puede suponer un ahorro del 1-2% del combustible. Además, la inversión a realizar es abordable y asequible. Una manta térmica de 50 mm de espesor de lana de roca puede suponer un desembolso de entre 5 y 8 €/m<sup>2</sup>, por lo que en 2 ó 3 años se recupera ampliamente la inversión.
- Si la temperatura de los gases de chimenea es elevada, los motivos pueden ser diversos: puede ser debido a un mal intercambio de calor en el interior de la caldera



por suciedad en las superficies de intercambio, por un exceso de tiro que disminuye el tiempo de contacto entre los gases y la superficie de intercambio, por un deterioro o mal diseño de la cámara de combustión, un recorrido insuficiente de los humos de combustión o incluso un exceso de combustión en relación a las necesidades. Una limpieza periódica de la caldera mejora la transferencia térmica en el interior de la misma, aumentando el calor útil obtenido y disminuyendo la temperatura de los gases de salida. Por cada 20°C que se consiga disminuir la temperatura de los gases, se reduce el consumo de combustible en un 1% aproximadamente. Otra posibilidad existente para aprovechar la temperatura de los gases es la instalación de equipos recuperadores de calor. De este último punto se hablará más detalladamente en el apartado siguiente.

Estas medidas de optimización de las condiciones de funcionamiento de calderas serán igualmente aplicables para los sistemas de calefacción mediante caldera de combustible.

## **2| Optimización de las redes de distribución de calor.**

El transporte de fluidos (agua, vapor, aceite, aire, humos) también consume energía. Toda caldera lleva asociada una serie de equipos para el trasiego de fluidos (bombas, compresores, ventiladores, etc.) que pueden ser importantes consumidores de energía eléctrica. El consumo energético asociado al transporte de fluidos se puede reducir de las siguientes formas:

- Calorificar las tuberías de fluidos calientes (temperaturas mayores de 20°C) constituye una acción imprescindible para garantizar la seguridad en el trabajo, y además reduce las pérdidas de calor en un 2-3%. Por otra parte, es necesario revisar periódicamente el estado del aislamiento de los diferentes tramos de la red para comprobar que no se produzcan fugas.
- En redes de distribución de vapor existen sistemas de recogida de condensados. Estos condensados contienen calor sensible que puede ser aprovechado, trayendo consigo una reducción del coste de generar vapor. La recuperación de condensados puede suponer un ahorro de combustible del 1% por cada 5 °C o 6 °C de calentamiento en el agua de alimentación a las calderas
- Realizar inspecciones periódicas de las líneas de distribución de vapor, identificando el daño físico, grietas; bandas y cintas de sujeción rotas; juntas rotas o dañadas; y/o cubiertas dañadas. Con esta medida mantenemos un adecuado rendimiento de la caldera.

## **3| Recuperación de calores residuales.**

Los gases de combustión que salen de la caldera lo suficientemente calientes (a una temperatura superior a 230 °C) tienen todavía energía sobrante que puede ser utilizada para precalentar el agua o el aire de combustión y disminuir así la demanda de combustible.

Los equipos encargados de precalentar el agua de alimentación se denominan economizadores, y consisten en un intercambiador de calor gas – agua que permiten que los gases de escape calientes cedan calor al agua de alimentación. Si lo que se persigue es precalentar el aire de combustión, los equipos específicos se denominan precalentadores, que son también un tipo especial de intercambiadores de calor gas – aire, mediante el cual, los gases calientes transfieren su energía térmica al aire de combustión antes de abandonar

la caldera. En cualquier caso, se debe tener en cuenta que existe un límite por debajo del cual no es posible enfriar los gases (130 - 175°C), ya que se podrían producir importantes corrosiones en conductos debido a la condensación de ácido sulfúrico. A esta temperatura se le denomina temperatura de rocío. Esta restricción no se aplica en combustibles con bajo contenido en azufre tales como gas natural o gases licuados del petróleo (GLP).

Existe una gran variedad de tipos de economizadores y precalentadores, y la mayoría de ellos suelen estar hechos a medida en función de las características y necesidades de cada equipo en particular. Se ha comprobado que los periodos de amortización de los equipos necesarios para recuperar el calor de los gases (precalentando el agua o el aire de combustión) son muy bajos (1-2 años), consiguiendo importantes ahorros de energía que pueden llegar hasta el 20% del combustible. El calor recuperado de los gases de combustión puede aprovecharse incluso en un equipo distinto. Por ejemplo, pueden utilizarse los gases de escape a baja temperatura para los procesos de secado de pieles.

Además, esta recuperación energética no solo está restringida a los gases de combustión de calderas, sino que puede ser extensible a por ejemplo los baños calientes empleados en curtiduría, que una vez agotados se convierten en efluentes, a los condensados de la red de distribución de vapor, etc., y en general a cualquier flujo producido de manera constante con un contenido entálpico aprovechable.

#### **4| Optimización de la operación en las cámaras de secado.**

El consumo energético que tiene lugar en las cámaras de secado de pieles pueden reducirse a través de mejoras en el propio equipo o mediante mejoras en el proceso.

Mejoras en el propio equipo pueden venir dadas por una minimización de las fugas de aire caliente y un mejor aislamiento, evitándose pérdidas de energía que pueden llegar a ser importantes. Es necesario disminuir estas pérdidas de calor superficiales mediante el recubrimiento con materiales aislantes de la superficie interna del horno de secado en las zonas de más alta temperatura, aumentando su espesor o eligiendo otro tipo si fuera necesario. Las pérdidas de calor a través de las paredes pueden reducirse hasta un 70-80%, lo que se traduce en un ahorro del 1-2% del combustible o electricidad.

Otros aspectos de la operación del equipo que deben tenerse en cuenta para disminuir el consumo energético en la operación de secado son:

- En la mayoría de las operaciones de secado, la humedad del aire de salida es inferior a su valor de saturación con relación al contenido en humedad del material secado. Esto significa que se ha extraído menos agua de la que sería posible y por tanto se ha empleado más energía de la necesaria en calentar el aire. Una de las soluciones sería recircular parte de ese aire caliente de salida a la entrada del secadero.
- Secar el producto por encima de la humedad de equilibrio a la temperatura de almacenamiento supone un consumo innecesario de energía. La energía extra se pierde porque el producto absorberá humedad durante su almacenamiento.
- En el caso de ser cámaras de secado en las que se produzca combustión, no se debe operar con una relación aire-combustible excesiva; de un 10 a un 20% (dependiendo del combustible) puede ser suficiente para evitar inquemados del combustible. Si el proceso necesita mayores flujos de gas, puede recircularse una parte de los gases de escape parcialmente húmedos.

Por otro lado, modificando ciertos aspectos del proceso, como optimizar los procesos mecánicos de deshidratación previos al secado, pueden conseguirse ahorros importantes en la operación de secado térmico posterior.

#### **5| Sustitución de la fuente energética en la generación de calor.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 2 del sector de Ganadería.

#### **6| Aplicación de la MTD de curtido en seco.**

Se trata de un sistema de curtido en el que las sales de cromo, empleadas para el curtido de pieles en la práctica totalidad de curtidurías actuales, se aplican en seco en lugar de disueltas en un baño con agua caliente o fría. La aplicación de esta tecnología dependerá del tipo de piel a tratar, no pudiendo ser aplicada en todos los casos.

#### **7| Aplicación de la MTD de curtido con baños cortos**

Como “baño corto” se conoce a un baño preparado con un volumen de agua reducido. Esta medida permite reducir, además del consumo de agua, el consumo de reactivos y el tiempo de operación debido a la mayor concentración de las soluciones. Todo ello se traducirá en un menor consumo energético en el bombeo de agua y depuración de efluentes, así como en la operación de los fulones o bombos al disminuir el tiempo de operación. No obstante, se deben tener en cuenta ciertos aspectos que pueden repercutir en la calidad del producto final y en la operación de los equipos, ya que se incrementa la fricción de las pieles en el proceso, y además se puede aumentar el desgaste de la estructura de los fulones debido a este mayor rozamiento. La operación con baños cortos constituye una tendencia puesto que, junto con otras medidas como el lavado por lotes en lugar de con agua corriente, se puede reducir el consumo de agua hasta en un 70% en comparación con un proceso convencional.

#### **8| Instalación de variadores de frecuencia en bombeo y ventilación**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 12 del sector de Agricultura.

#### **9| Empleo de motores de alta eficiencia**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 9 del sector de Agricultura.

#### **10| Ahorro energético en la producción, control y distribución de aire comprimido.**

En las instalaciones de fabricación de calzado es habitual la utilización de maquinaria neumática, por lo que la optimización de los sistemas de generación y distribución de aire comprimido, deberán ser tenidos en cuenta. A continuación se presentan algunas actuaciones que se pueden llevar a cabo para reducir el coste debido al uso de los compresores.

- Recuperación de calor: El principio de funcionamiento termodinámico de los compresores es muy ineficiente, ya que hasta un 94% de la energía consumida en un compresor se transforma en energía térmica y únicamente un 6% se transforma

en energía de presión. El calor disipado se puede recuperar produciendo un importante ahorro energético. Los compresores refrigerados por agua pueden recuperar hasta el 90% de la energía de entrada en forma de agua caliente a temperatura de 70°C – 80°C, pudiendo ser utilizada en alimentación a caldera, etc.

- Presión adecuada de trabajo: La presión a la que se produce el aire comprimido debe ser la mínima que garantice el buen funcionamiento de los equipos consumidores ya que el consumo de energía se incrementa con el aumento de presión. Por lo general, una reducción del 20% de la presión implica una disminución del 15% del consumo en el compresor. La producción de aire comprimido a presiones superiores a la necesaria es una situación que se encuentra con cierta frecuencia en las instalaciones industriales.
- Otra medida aplicable es el cambio de la toma de aire al compresor a una zona fría de la planta. Un aumento de la temperatura de entrada de 4°C implica un aumento del consumo de energía, debido a su menor densidad, del 1%.
- Variadores de velocidad: La utilización de compresores de velocidad variable permite ajustar la potencia desarrollada por el motor a la carga instantánea, mejorando notablemente la eficiencia energética del conjunto.

Existen en el mercado compresores de tornillo que disponen de convertidor de frecuencia (variador de velocidad) que actúa sobre la velocidad de funcionamiento del compresor, adaptando la capacidad del equipo exactamente a la demanda de aire comprimido. Esta tecnología de velocidad variable optimiza energéticamente la producción de aire comprimido manteniendo la presión constante. Las principales ventajas de esta tecnología son el suministro de aire a presión estable, con una capacidad de regulación continua de la carga entre el 15% y el 100% y la realización de puestas y paradas suaves, incidiendo en un menor desgaste del equipo eléctrico y mecánico. Tampoco se produce gasto innecesario de energía en funcionamiento de descarga y se reducen los picos de intensidad debidos a los arranques. Los sistemas de distribución de aire comprimido siempre presentan fugas, que en las instalaciones industriales pueden representar entre el 20 y el 50% del consumo total del compresor. Estas fugas causan importantes caídas de presión que producen ineficiencia en el funcionamiento de maquinaria, forzando a los compresores a trabajar por encima de lo necesario para compensar esta caída de presión y provocando un consumo innecesario de energía, además de un mayor desgaste de los compresores. Pueden ser importantes en instalaciones en las que no existe un protocolo claro de vigilancia y mantenimiento del sistema de distribución, dándose principalmente en piezas de unión, racores, etc. La creación de un plan de control de fugas y mantenimiento puede ayudar a reducir estas pérdidas hasta hacerlas prácticamente inexistentes.

#### **11| Mejora de la eficiencia de los sistemas de iluminación.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 3 del sector de Ganadería.

#### **12| Contabilidad Energética.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 6 del sector de Ganadería.

#### **13| Automatización de procesos.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 7 del sector de Ganadería.

## INDUSTRIA DE LA MADERA Y DEL CORCHO

### 1| Mejoras energéticas en secaderos.

El secado de la madera es el principal proceso consumidor de energía en las instalaciones de tratamiento de la madera, ascendiendo hasta un 70%-90% de la energía total, por lo que su optimización es necesaria para aumentar el rendimiento energético del proceso. Existen básicamente dos tipos de secaderos, los secaderos continuos y discontinuos. Los secaderos continuos presentan múltiples ventajas respecto de los secaderos discontinuos o por lotes, por lo que siempre será preferible su instalación. Estos secaderos continuos consumen menos electricidad y menos de energía térmica (entre un 10% y 35%) que los secaderos discontinuos de cargas.

Otro aspecto fundamental es el correcto aislamiento y estanqueidad del equipo. Dado que entre el 10% y 20% del consumo total de calor en el secadero se pierde a través de la estructura del secadero, es necesario que el estado, la calidad y el espesor del aislante utilizado sea óptimo, evitando fugas de aire y minimizando la transferencia de calor. La correcta regulación de todo el proceso es también muy importante. Tanto los sistemas de calentamiento, como la entrada de aire fresco de alimentación y las velocidades para la circulación del aire, son elementos que deben regularse automáticamente según el tipo de madera, su grado de humedad, el grado de eliminación de la humedad a conseguir, etc. En este sentido, los detectores de humedad permiten optimizar la velocidad de alimentación del material, velocidad de circulación del aire y demás variables del proceso, lo que lleva consigo un ahorro energético. Este control y regulación evita también secar el producto por encima de la humedad de equilibrio a la temperatura de almacenamiento supone un consumo innecesario de energía. La energía extra se pierde porque el producto absorberá humedad durante su almacenamiento.

Otras medidas adicionales a tener en cuenta se listan a continuación:

- El secadero aumenta su eficiencia cuanto más alta es la temperatura de los gases a su entrada. Pero hay que tener en cuenta que el producto a secar puede dañarse o deflagrar si la temperatura es demasiado alta. Así, las virutas verdes pueden secar a temperaturas de 650-750 °C, mientras que en materiales previamente secadas, las temperaturas de trabajo se encuentran entre los 260-310 °C.
- Aunque se ha comentado en la medida anterior, el calor residual a baja temperatura procedente del mismo o de otros equipos puede ser recuperado para precalentar el aire de combustión o el producto. En el caso de secado de madera aserrada, el calor recuperado se emplea normalmente en calentar la entrada de aire fresco en el secadero mediante un intercambiador. Además, puede utilizarse para el presecado de la madera aserrada.
- Las altas temperaturas que intervienen en el secado de partículas hace económicamente muy interesante la recuperación térmica en una gran instalación. Entre el 20% - 60% de la energía térmica utilizada en el secado puede ahorrarse haciendo recircular de nuevo los gases de escape en el secadero.
- Los gases de escape que abandonan el secadero deben salir lo más saturados de humedad posible para maximizar su capacidad de secado.

- Secar usando un combustible es caro. Antes de introducirlo en el secadero hay que tratar de secar el producto tanto como sea posible mediante secado natural o forzado con aire.

El consumo eléctrico necesario para el movimiento del aire interior es también un aspecto a tener en cuenta, pero se tratará en el apartado de equipamientos eléctricos.

## **2| Recuperación de calores residuales.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 3 del sector de cuero y calzado.

## **3| Optimización de la red de distribución de calor.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 2 del sector de cuero y calzado.

## **4| Optimización del funcionamiento de calderas.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 1 del sector de cuero y calzado.

## **5| Sustitución de la fuente energética de generación de calor.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 2 del sector de ganadería.

## **7| Valorización del residuo generado (serrín y retal) en los sistemas térmicos.**

Como se ha mostrado en el apartado de descripción del sector, la cantidad de serrín generado puede ser almacenado para abastecer la caldera en el periodo de uso de la calefacción, pudiendo llegar a cubrir el 100 % de la demanda. Para su utilización es necesario contar con una caldera que acepte como posibles combustibles serrín pero también astillas. Por otro lado, en las empresas se genera una cantidad de retal diario, el cual se trata como residuo, generando un coste de recogida. El tipo de retal producido varía en tamaño y grosor dependiendo de las características del producto de procedencia. Para su homogeneidad y aprovechamiento en la caldera se propone la instalación de una máquina astilladora. Con éste tipo de máquinas se reduce la granulometría de los recursos hasta tamaños entre 1 y 5 cm mediante sistemas de cuchillas dispuestos de diferentes formas siendo una de sus aplicaciones la generación de astillas procedente de los residuos de industrias de transformación de la madera. De ésta forma se reduce el tamaño de los retales hasta partículas menos exigentes que en el caso del serrín lo que haría necesario el uso de una máquina de molienda, más exigente en cuanto al consumo de energía y humedad de los retales.

## **8| Instalación de un sistema de gasificación.**

Actualmente se está desarrollando un tipo de tecnología basada en la gasificación. Ésta técnica energética consiste en la gasificación de diversos residuos agroforestales y madereros en déficit de oxígeno, mediante la utilización del aire como agente gasificador.

Las condiciones del combustible se ajustan a éste residuo ya que se permiten tamaños de astillas de hasta 10 cm con una humedad de hasta el 15 %. Una vez introducido el combustible en el gasificador se calienta en unas condiciones de déficit de oxígeno, a fin de evitar la combustión, y como producto principal se obtiene gas energético, que tras una serie de procesos alimenta un motor de gas para la generación eléctrica mediante un generador. Por otro lado, la energía térmica producida se puede aprovechar bien para el secado del residuo de ser necesario, o para la calefacción de las naves.

#### **9| Mejoras en los sistemas de generación y distribución del aire comprimido.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 10 del sector de cuero y calzado.

#### **10| Instalación de motores de alta eficiencia.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 9 del sector de agricultura.

#### **11| Instalación de variadores de velocidad en motores de aspiración y cintas transportadoras.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 12 del sector de agricultura.

#### **12| Mejoras en los sistemas de iluminación.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 3 del sector de ganadería.

#### **13| Contabilidad Energética.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 6 del sector de Ganadería.

#### **14| Automatización de procesos.**

Esta medida se encuentra ya descrita en el punto 7 del sector de Ganadería.