Eficiencia de una caldera de biomasa en un centro hospitalario. Aprovechamiento de huesos de aceitunas triturados para producción de calor

Justo García Sanz-Calcedo* Dr. Ingeniero Industrial
Francisco Cuadros-Blázquez* Dr. en Ciencias Físicas
Antonio Ruiz-Celma* Dr. Ingeniero Industrial
Fernando López-Rodríguez** Dr. Ingeniero Industrial

* UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA, Avda. Santa Teresa de Journet, s/n – 06800 Mérida (Badajoz). Tfno: +34 924 387068. jgsanz@unex.es; cuadros1@unex.es
**AGENCIA EXTREMEÑA DE ENERGÍA. Avda. Antonio Masa Campos, 26 – 06011 Badajoz. Tfno: +34 924 262161. flopezf1@hotmail.com

Recibido: 27/08/2010 • Aceptado: 15/11/2010

Efficiency of a biomass boiler in a hospital center. Use of olive crushing stones to produce heat

ABSTRACT

• The aim of the present work is evaluating the influence of the operational variables of a renewable energy heating system, specifically biomass-based crushed olive stone, analyzing the feasibility of implementing this type of renewable energy facilities in hospitals and other buildings of Extremadura (Spain), studying how it influence energy and environmental aspects of the building in the energy consumption and management. The analysis has taken account of technical aspects related to the operation of these installations with biomass, including reliability and maintainability of the same, evaluating the problems generated by the introduction of renewable energy from biomass with bones olive crushed in hospitals.

• Key words: hospital, biomass, energy efficiency, environmental management.

RESUMEN

El objetivo de este estudio ha sido evaluar las variables operacionales de una instalación térmica de energía renovable, en concreto biomasa a base de hueso de aceituna triturado, analizando la viabilidad de implantar este tipo de instalaciones de energías renovables en hospitales y otros edificios socio-sanitarios en Extremadura (España), estudiando como influyen los aspectos energéticos y medioambientales del edificio, tanto en el propio consumo energético como en la gestión del mismo.

El análisis ha tenido en cuenta aspectos técnicos relacionados con la explotación de este tipo de instalaciones térmicas alimentadas con biomasa, entre otros la fiabilidad y la mantenibilidad de las mismas, evaluando la problemática que genera la introducción de energías renovables a base de biomasa con huesos de aceituna triturada en edificios de tipo hospitalario.

Palabras clave: hospital, biomasa, eficiencia energética, eficiencia medioambiental.

1. INTRODUCCIÓN

La instalación de sistemas basados en la generación de energía térmica a base de biomasa en edificios del sector terciario, es uno de los actuales retos a los que se enfrenta el sector de las energías renovables, que ha despegado en lo referente a captación de energía solar, pero que aún está en fase de desarrollo en España en lo correspondiente a la biomasa [1].

La necesidad de cumplir con el objetivo establecido en la *Directiva Europea 2009/28/CEE,* que marca para España una contribución de las energías renovables de un 20% de la energía primaria en 2020, apuntan a la biomasa como una línea por la cual se debe apostar, ya que la tecnología existente en la conversión energética mediante biomasa asegura el funcionamiento eficiente de las instalaciones [2].

Sin embargo, el desarrollo e implantación de estas tecnologías biomásicas todavía está lejos de ser satisfactorio. En Europa, la contribución de la biomasa en 2008 fue de 68,7 Mtep [3], lo que representa una media aproximada de 0,138 tep/habitante. En España, el consumo de biomasa durante ese mismo año fue de 4,34 Mtep, lo que significa que cada español consumió una media de 0,096 tep; es decir, en España el consumo medio de biomasa por habitante y año, es un 30% menor al que corresponde a la media europea. Una razón puede

ser que una parte de España es semiárida y tiene una elevada irradiancia, por lo que la producción real de biomasa de origen forestal es inferior a la de otros países europeos.

Se hace necesario realizar instalaciones de biomasa que sirvan de demostración de las bondades de esta tecnología, prioritariamente en edificios públicos, que sean visitados frecuentemente por gran cantidad de usuarios. Este es el caso de los hospitales, edificios que funcionan ininterrumpidamente y que son altamente frecuentados.

El principal objetivo en la producción de energía térmica en un centro sanitario es asegurar las condiciones de máximo confort para pacientes y trabajadores, teniendo en cuenta el coste económico, las condiciones de suministro del combustible y el impacto medioambiental del mismo [4]. Además, las medidas para mejorar la eficiencia energética de un hospital deben tener en cuenta las condiciones climáticas y las particularidades locales [5], así como el entorno ambiental interior [6] y la relación coste-eficacia, no debiendo contravenir otros requisitos esenciales aplicables a este tipo de edificios, tales como la accesibilidad, la seguridad en el suministro [7] y la fiabilidad de sus instalaciones.

La utilización de la biomasa como combustible permite alcanzar los anteriores objetivos, posibilitando además, la utilización de una energía renovable de la que se dispone en gran abundancia en Extremadura [8], aprovechando fuentes autóctonas y convirtiendo un residuo en recurso, gracias a su aprovechamiento energético [9]. Sin embargo, la apuesta por la energía renovable obtenida a partir de biomasa [10], con el objetivo de optimizar el gasto energético de las instalaciones y minimizar las emisiones al medioambiente [11], cuenta con pocos antecedentes en centros hospitalarios [12].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

En este trabajo se presentan los primeros resultados sobre eficiencia energética y viabilidad económica, obtenidos a partir de un sistema de generación de calor alimentado por huesos de aceituna triturados, que sirve para cubrir parte de la demanda térmica del Hospital de Zafra (Badajoz).

Para ello, en primer lugar se efectuó una auditoría energética [13] del hospital efectuada por la *Agencia Extremeña de Energía, AGENEX*, que permitió conocer la situación real en lo relativo a la gestión energética y a las instalaciones, y que se utilizó como base técnica del estudio de viabilidad.

Una vez ejecutada la instalación, para la obtención de los datos relacionados con su operación, se introdujo cada uno de los componentes del sistema, en el plan de mantenimiento preventivo del hospital, asignando un tiempo determinado a cada una de las tareas de mantenimiento. Se cronometró el tiempo diario dedicado a labores de mantenimiento de la caldera de biomasa y de sus instalaciones complementarias, así como el dedicado a la localización y reparación de averías. Además, se monitorizaron los datos relativos al rendimiento global de la instalación, utilizando para ello el sistema de telegestión de la caldera, monitorizando los parámetros operativos, registrando de forma automática el estado de funcionamiento y el valor de sus parámetros de control.

El proceso de captación de datos se completó con los obtenidos en los archivos históricos del Servicio de *Ingeniería y Mantenimiento* del hospital, mientras que los datos asistenciales se han cotejado con los históricos disponibles en el sistema de información sanitaria del *Servicio Extremeño de Salud*.

Para validar los resultados obtenidos durante el periodo analizado, los valores han sido contrastados mediante una segunda auditoría energética, efectuada por AGENEX. La metodología de captación de datos, se describe en la Fig. 1.

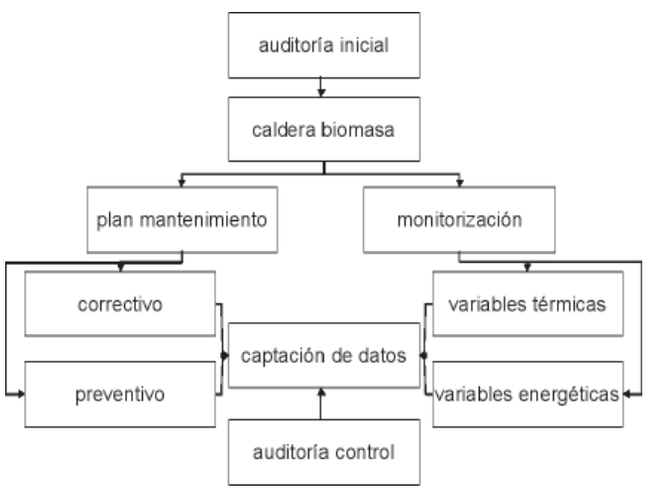


Figura 1: Esquema metodológico de captación de datos

En lo que respecta al análisis del combustible, se actuó de la siguiente manera: una vez recepcionadas y etiquetadas las muestras, se procedió en primer lugar al secado de las muestras, estableciendo el contenido de humedad, mediante el secado en una estufa a 105ºC hasta pesada constante. La pérdida de masa de la muestra, expresada en %, es el contenido de humedad, de acuerdo con las normas ASTM D 2016-65 y 871-872.

El análisis de cenizas, se realizó mediante procedimiento de calcinación y determinación del contenido de cenizas, basado en la combustión de la biomasa en un horno de mufla, que se calienta mediante rampas de temperatura hasta alcanzar 815ºC, método que deriva de la ASTM D-1102-84. El análisis de volátiles 950ºC, se basa en el calentamiento de la biomasa a 950ºC en una atmósfera pobre en oxígeno, para lo que se utilizan crisoles con tapaderas. Por otro lado, el carbono fijo se calcula por diferencia al 100% de los contenidos de cenizas a 815ºC y de volátiles más humedad.

Se describen a continuación las instalaciones que forman parte del proyecto.

2.1. CALDERA

La caldera de biomasa que se ha instalado para calefacción y agua caliente sanitaria, actúa conjuntamente

con las existentes, manteniendo en modo reserva la anterior caldera para entrar en funcionamiento automáticamente de forma redundante en caso de fallo. Se trata del modelo *Bioselect-430* del fabricante *Lasian*, tiene una potencia de 430 kW, es de chapa de acero con tres pasos de humos verticales y sistema de autolimpieza, y trabaja a una presión de servicio de 4 bares. El quemador de biomasa es de tipo modulante en cascada, con encendido automático y sistema empujador de cenizas, incorporándose además, un sistema de recuperación de partículas sólidas mediante la utilización del efecto ciclón. La caldera sustituida, utilizaba como combustible gasóleo, tenía una potencia nominal similar a la instalada.

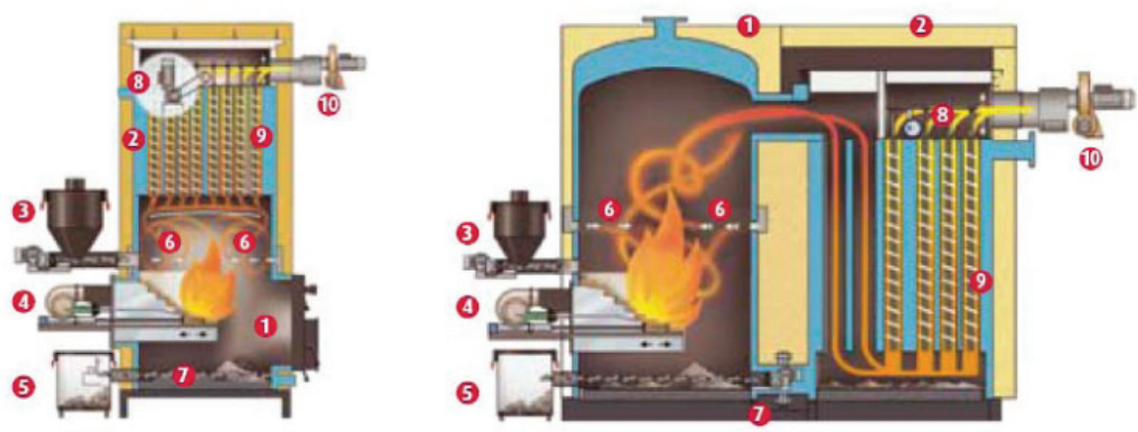
Se utiliza un tornillo sinfín para el transporte del combustible desde el silo de almacenamiento hasta la caldera, en cuya cámara de combustión se introduce el combustible por gravedad y se produce la transferencia de energía en forma de calor al agua del circuito primario. El esquema de funcionamiento de la caldera se puede observar en la Fig. 2.

Para conseguir una mayor eficiencia, regulando la demanda térmica, se ha dispuesto de un depósito de inercia de 2.000 litros, el cual actúa como depósito de calor que evita arranques múltiples del quemador, optimizando el rendimiento del mismo y alargando la vida útil de la instalación [14].

La temperatura de trabajo se ha regulado en 84ºC y el horario de funcionamiento se ha establecido de forma ininterrumpida. En la Fig. 3 se puede observar una vista de la central térmica de biomasa.

2.2. COMBUSTIBLES

En Extremadura, los tipos de biomasa que se pueden utilizar están condicionados a la disponibilidad del mercado, siendo los más comunes el hueso de aceituna, la poda del olivar y de frutales para hacer astillas, los recortes de madera procedentes de industrias, la cáscara de frutos secos, los residuos forestales [15], los concentrados de la vid [16] y los "*pellets*".



1. Cámara de combustión. 2. Intercambiador tubos verticales. 3. Silo + Sinfín alimentación. 4. Conjunto quemador: Aire primario Encendido automático Empujador de cenizas. 5. Contenedor de cenizas. 6. Aire secundrio. 7. Extractor de cenizas. 8. Sistemas de limpieza intercambiador. 9. Retenedores. 10. Extractor de humos.

Figura 2: Esquema de funcionamiento de una caldera de biomasa seca. Cortesía de Lasian Tecnología del Calor S.L.

Figura 3: Central térmica instalada en el Hospital Comarcal de Zafra (Badajoz)

Para la puesta en marcha de la instalación, se ha procedido a evaluar el coste económico por kilowatio hora relativo al empleo de distintos combustibles, considerando los costes derivados del transporte al punto de suministro, y comparándolos con los costes de combustibles no renovables (gasóleo y gas natural), teniendo en cuenta los precios de mercado (abril 2010) para un consumo equivalente al previsto anualmente en el hospital.

En la Fig. 4 se han representado los costes finales de distintos combustibles expresados en céntimos de euro por unidad de kWh de energía calorífica producida, observándose cómo los combustibles renovables son más económicos [17]. En concreto, el hueso de aceituna es un 20% más económico que el "*pellet*", un 41% que el gas natural y un 50% que el gasóleo C, todo ello suponiendo que el rendimiento de las

calderas de combustibles sólidos sea inferior en un 6% al resto de calderas [18].

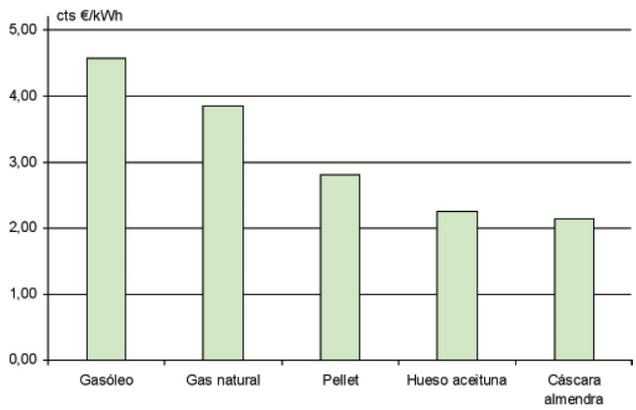


Figura 4: Coste por kWh de energía térmica producida por distintos combustibles

No obstante, el coste de los combustibles de tipo fósil está gravado con elevados impuestos. En concreto, el gasóleo para calefacción incrementa el precio final hasta en un 32,3%. Por otro lado, la biomasa derivada de los recursos agroalimentarios tiene importantes subvenciones derivadas de la política agraria de la Unión Europea. Estos hechos alteran el precio real de comercialización de ambos tipos de combustibles de tal forma que, desde una perspectiva puramente económica, los llega a igualar.

A medio-largo plazo, la tendencia de incremento de costes de producción de los hidrocarburos y sus derivados, claramente al alza, aumentará la diferencia de precio respecto a los biocombustibles, cuyo coste tiende a estabilizarse conforme se consolidan las industrias dedicadas a la transformación de subproductos.

Se decidió utilizar como combustible huesos de aceituna triturados, cuyas características físico-químicas se especifican en la Tabla 1.

Parámetros	Analítica
Tamaño (mm)	< 5
Humedad (%)	7,10
PCI (kWh/kg)	4,872
Cenizas (%)	0,55
Volátiles (%)	74,25
Azufre (%)	0,04
Cloro (%)	0,064
Carbono fijo (%)	19,49

Tabla 1: Análisis de las características físico-químicas del hueso de aceituna

Se trata de un tipo de combustible que procede directamente del proceso de molienda de las aceitunas en las almazaras, y es un subproducto del proceso de obtención del aceite de oliva. En la extracción del aceite de oliva virgen, se genera un subproducto denominado alpeorujo: restos de piel, pulpa y hueso de la aceituna y agua de vegetación y añadida al proceso. De este producto, las almazaras extraen el hueso de aceituna mediante deshuesadoras en húmedo y lo separan del resto de componentes, reduciendo considerablemente su humedad, que durante los meses de verano se acelera.

El contenido de humedad en el hueso de aceituna asegura el adecuado rendimiento de la instalación y debe oscilar entre el 5% y el 10%. Otro parámetro que debe controlarse es el tamaño del combustible, inferior en todos los casos a 5 mm para garantizar la correcta combustión de todas las partículas, así como su homogeneidad.

La elevada disponibilidad de este tipo de combustible en España, permite disponer durante todo el año del mismo, pues la producción mundial de aceitunas se sitúa en torno a 2.700.000 toneladas de las cuales el 82,5% corresponde a Europa, siendo España el mayor productor mundial con cerca de un tercio de la producción y el 73% de la Unión Europea. Por tanto, el hueso de aceituna es un recurso biomásico renovable, aunque limitado a la producción de la industria básica de la que deriva.

3. RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo, se han clasificado en los siguientes apartados: económicos, energéticos, medioambientales y operativos.

3.1. BALANCE ENERGÉTICO

El balance energético de la instalación de biomasa se ha efectuado en base a la demanda histórica de los cinco últimos años, tanto de agua caliente para calefacción como de agua caliente sanitaria. Se ha estimado la demanda energética que debe satisfacer la caldera de biomasa anualmente y se ha supuesto que el rendimiento del sistema de calefacción con biomasa es inferior en un 10% a la anterior caldera de gasóleo [19]. En la Tabla 2 se detallan los parámetros.

Parámetros	Cantidad
Demanda térmica	812.515,5 kWh
Potencia útil	430 kW
Tiempo funcionamiento	1.900 h
Temperatura	84º C
Rendimiento	80 %

Tabla 2: Balance energético de la instalación de biomasa del Hospital de Zafra

En los cálculos sobre la demanda térmica se ha tenido en cuenta que el uso de agua caliente para calefacción se realiza en los meses de octubre a abril, mientras que solo se utiliza la caldera para producir agua caliente sanitaria en los restantes

meses. El consumo anual de huesos de aceituna triturados ha sido de 218 toneladas.

3.2. BALANCE MEDIOAMBIENTAL

Las emisiones de dióxido de carbono producidas en la combustión de la biomasa son prácticamente neutras, ya que se parte de la base que la planta vegetal es capaz de retener durante su crecimiento más CO_2 del que se libera en su combustión [20]. En cuanto al resto de contaminantes, las emisiones son tan bajas que se consideran despreciables, por lo que prácticamente las emitidas por el gasóleo coinciden con las evitadas al ser sustituido éste por la biomasa.

Emisiones	Cantidad (kg/año)	Cantidad (g/kWh)
NO_2 (kg)	- 5.852,81	- 5,76
SO_2 (kg)	- 303,537	- 0,29
CO (kg)	- 1.249,17	- 1,23
CO_2 (kg)	- 242.829,6	- 239,01
Partículas (kg)	+ 140,72	+ 0,13
Cenizas (kg)	+3.276,27	+ 3,23

Tabla 3: Balance medioambiental de la instalación de biomasa del Hospital de Zafra

Como se puede observar en la Tabla 3 el cambio de caldera únicamente aumenta la emisión de partículas a la atmósfera, compuestas fundamentalmente por cenizas volantes de carbono, aunque con el término partícula se engloba aquellos constituyentes, a excepción del agua pura, presentes en la atmósfera en estado sólido o líquido, con un tamaño superior al de las moléculas simples e inferior a 100 micras. Aún así, se ha comprobado que el rango de emisión de partículas se encuentra por debajo de los límites admisibles para una instalación de este tipo.

La elevada producción anual de ceniza de la instalación, genera expectativas para una posible valorización de la misma, que en estos momentos está en fase de investigación. Los trabajos efectuados respecto al aprovechamiento de cenizas para su utilización como abono forestal, confirman la moderada capacidad encalante y fertilizante de la misma y sugiere una importante vía de revalorización de este residuo, ya que en la práctica mejora el establecimiento, vigor y estado nutricional de las plantas forestales [21], mejorando significativamente la porosidad del suelo, la capacidad de retención de agua, el pH y los contenidos de P, K, Mg y Ca.

Durante las 7.000 primeras horas de funcionamiento, se han disminuido las emisiones de CO_2 a la atmósfera en 242 toneladas, es decir, el equivalente a la captación anual de 4.850 árboles adultos aproximadamente [22], aunque se ha aumentado la emisión de partículas a la atmósfera en 143Kg.

3.3. BALANCE ECONÓMICO

Para analizar la viabilidad económica del proyecto se ha efectuado un análisis comparativo entre la instalación de gasóleo que estaba en funcionamiento en el hospital y la nueva de biomasa, calculando el coste económico anual de cada combustible, necesario para producir la misma energía térmica.

La inversión ha sido de 177.000 euros, habiéndose obtenido una subvención de la Junta de Extremadura de 51.600 euros a fondo perdido, en base al convenio suscrito con el Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético.

Indicador	Valor
Inversión	177.000 €
Subvención	51.600 €
Coste de la instalación	125.400 €
Ahorro anual combustible	23.131,04 €
Retorno de la inversión	5,4 años
Ahorro vida útil (10 años)	231.310,4 €

Tabla 4: Balance económico de la instalación de biomasa del Hospital de Zafra

Como se puede observar en la Tabla 4 el ahorro global estimado durante la vida útil esperada de la instalación [23], 10 años, es de 231.310 €. Se obtiene, pues, un periodo de retorno de 5,4 años, inferior al producido en otros tipos de instalaciones de producción de energía basadas en captación solar y se ha generado un ahorro económico anual de aproximadamente 23.000 €. Por otro lado, el valor de compra de una cantidad equivalente que la evitada de dióxido de carbono en el mercado de derechos de emisiones, (referencia abril-2010), supondría un ahorro adicional de otros 2.900 € cada año.

3.4. BALANCE OPERATIVO

La seguridad y continuidad en el suministro de cualquier central térmica es indispensable para garantizar una calidad de la instalación aceptable. En el caso de hospitales pasan a ser instalaciones críticas en cuanto a los mencionados factores se refiere [24], haciéndose indispensable proceder a un estudio pormenorizado sobre la fiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad de las mismas. Para ello se implementa una función de supervivencia, definida como la probabilidad de que el momento de un fallo sea posterior a un tiempo especificado, y que matemáticamente corresponde a la expresión:

$$R(t) = Pr(T>t) \quad (1)$$

Donde $R(t)$ es la función de supervivencia, t es el tiempo, T es una variable aleatoria que denota el momento del fallo, y Pr la probabilidad. Para el análisis de la fiabilidad en procesos de duración determinada, se ha utilizado el concepto de tasa de fallo, que se define de la siguiente manera [25]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Pr(t \le T \le t + \Delta t \mid T \ge t)}{\Delta t} \quad (2)$$

La tasa de fallo a lo largo del tiempo se define como la probabilidad de fallo de los equipos que permanecen en buen estado durante el tiempo t, y se representa por λ(t), según ecuación 3:

$$\lambda(t) = f(t) / R(t) \quad (3)$$

La tasa de fallo interesa de manera particular, puesto que su inversa representa la media de tiempos de buen funcionamiento, al menos cuando $\lambda(t)$ permanece constante en el tiempo [26]. Su expresión matemática es la siguiente:

$$MTBF = 1 / \lambda(t) \quad (4)$$

Dónde *MTBF* es la media de los tiempos de buen funcionamiento de la instalación y $\lambda(t)$ es la tasa de fallo de la instalación.

Para analizar la evolución en el tiempo de fiabilidad de la instalación de biomasa, parámetro que nos indica la probabilidad de que la instalación esté en estado operativo a lo largo de su vida útil, se ha representado en la Fig. 5 la tasa de fallo en función del número de horas acumuladas de utilización.

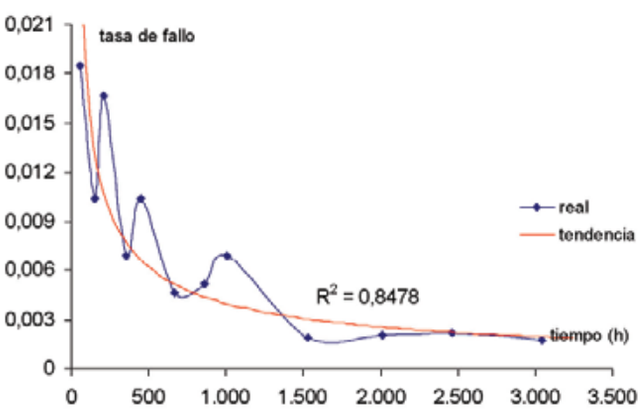


Figura 5: Relación entre la tasa de fallo y el tiempo de funcionamiento

En la Fig. 5 se puede observar como la tasa de fallo de la instalación es muy alta, o lo que es lo mismo la fiabilidad de la instalación en las primeras 500 horas es muy baja. Ello implica que se deben interponer medidas redundantes complementarias que garanticen la continuidad del suministro, mantenido el sistema en permanente observación las siguientes 500 horas. Sin embargo, a partir de las 1.000 horas de funcionamiento, el sistema se estabiliza y evoluciona de forma constante en el tiempo.

Para comprobar si hay una ecuación que relacione los anteriores valores, se han utilizando herramientas informáticas de proceso de datos para determinar y trazar la curva de regresión que, con una R^2 de 0,8478, responde a la ecuación:

$$y = 0{,}3244x^{-0{,}6368} \quad (5)$$

Siendo *y* la tasa de fallo esperada de la instalación expresadas en horas^{-1} y *x* el número real de horas acumuladas de funcionamiento.

El rechazo inicial del personal del hospital, tanto gestores como técnicos de mantenimiento, ha supuesto una barrera para la implantación de esta tecnología. Se han necesitado más tres meses de funcionamiento ininterrumpido de la instalación para vencer los últimos recelos, habiéndose demostrado que ni el proceso de aprovisionamiento, ni el proceso de carga/descarga han supuesto esfuerzos adicionales. Sin embargo, la calibración y la puesta en marcha de la instalación ha conllevado un esfuerzo muy superior a la de una caldera convencional: los continuos ajustes de los parámetros de control, han sido la tónica habitual en los primeros días de funcionamiento.

Se ha comprobado que la tecnología aplicada a las calderas de biomasa, tiene una menor fiabilidad que las calderas de gas natural y de gasóleo, sobre todo en el periodo inicial de funcionamiento de la misma. Es por ello que la disponibilidad de la instalación es inferior, por lo que conviene duplicar las instalaciones y/o disponer de unidades de apoyo con otro combustible. Las tareas de mantenimiento preventivo de la instalación de biomasa han aumentado un 120% respecto a instalaciones similares de producción de energía térmica mediante gasóleo y/o gas natural, debido a operaciones de limpieza, regulación y vaciado del cenicero, suponiendo esto una tarea adicional media de 60 minutos/día.

4. DISCUSIÓN

Se ha demostrado que el elevado consumo de agua caliente sanitaria y de calefacción que anualmente consume un hospital, hace del mismo un edificio ideal para la instalación de sistemas basados en la biomasa, pues su continuo funcionamiento favorece la amortización de las instalaciones.

La presencia permanente de personal de mantenimiento en las salas de calderas de los hospitales permite absorber el mayor tiempo necesario derivado de las operaciones de mantenimientos adicionales a este tipo de instalación, debidas a los procesos de limpieza del hogar y eliminación de cenizas. Es por ello que para la implantación y el desarrollo de este tipo de energías renovables en hospitales, es imprescindible la implicación del personal de mantenimiento y su formación previa.

Se ha observado que, promocionando la utilización de energías renovables mediante biomasa en hospitales, es posible ayudar a crear y consolidar un mercado de biomasa autóctona, incipiente al inicio de éste proyecto y en fase de consolidación en el momento actual, que a medio

plazo conseguirá un aumento económico del medio rural, fomentando su desarrollo y disminuyendo la dependencia externa del abastecimiento de combustibles.

Se ha evidenciado que es necesario mayor espacio para almacenamiento en este tipo de instalaciones y que los rendimientos de las calderas de biomasa son inferiores a los de las calderas convencionales. En cualquier caso, la utilización de la biomasa como fuente de energía tiene que estar basado en estrategias basadas en la sostenibilidad, es decir, consumir como máximo aquello que se produce.

Se ha calculado la inversión necesaria por unidad de energía útil, detectando que para la potencia instalada en el hospital, la inversión inicial necesaria es de 0,0955 €/kWh si se utiliza una instalación de gasóleo o gas natural, mientras que para la instalación de biomasa, tras incorporar subvenciones, es necesario invertir 0,1705 € por cada kWh de energía útil, siendo esta superior inversión, consecuencia del mayor coste de la caldera de biomasa y de los sistemas de almacenamiento. Si se comparan estos ratios con el coste por kWh de energía expresados en la Fig. 4, se puede deducir que aunque el precio final de los biocombustibles es menor que el precio de los combustibles fósiles, en el primer caso es necesaria una inversión inicial del orden de un 78% superior, que se amortiza en función de las horas de funcionamiento de cada instalación, muy elevadas en el caso de hospitales.

Se ha puesto de manifiesto la excelencia del hueso de aceituna triturado con respecto a otros biocombustibles del mercado, debido a su precio, homogeneidad, baja emisión de cenizas, opacidad de los humos y la baja emisión de olores en su almacenamiento y combustión, sirviendo la instalación de biomasa como aula docente abierta que minimice los actuales prejuicios con este tipo de instalación.

5. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento al Servicio de Ingeniería y Mantenimiento del Área Sanitaria Llerena-Zafra, al Hospital de Zafra y a la Agencia Extremeña de la Energía, por las facilidades mostradas en el desarrollo de éste proyecto, así como al IDAE por su financiación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- García-Benedicto L. "Instalaciones combinadas de energía solar térmica y biomasa en edificios". *Equipamiento y Servicios Municipales*. Vol. 105. p. 16-25. (2003)
- Idae. *Energía de la Biomasa*. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. Madrid. (2007). ISBN: 978-84-96680-15-9
- L´observatoire des Energies Renouvelables "http://www.eurobserv-er.org" [Consulta: 18 de junio de 2010]
- García Sanz-Calcedo J, Garrido S, Pérez C, López F. "Gestión Energética en Servicios de Salud". *Ingeniería Hospitalaria*. Vol. 34, p. 31-38 (2007)
- Huang YL, Mclaughlin CP. "Relative efficiency in rural primary health care: an application of data envelopment analysis". *Health Service Research*, 24, p. 143-158 (1989)
- Vargas-Marcos F, Gallego-Pulgarín I. "Calidad Ambiental Interior: Bienestar, Confort y Salud". *Revista Española de Salud Pública*. Vol. 79-2. (2005)
- Shu Yoshida, Koichi Ito, Ryohei Yokohama. "Sensitivity analysis in structure optimization of energy supply systems for a hospital". *Energy Conversion and Management*. Vol. 48, p. 2836-2843 (2007)
- López F et al. *Valoración de la Producción de Biomasa en Extremadura*. Agencia Extremeña de la Energía, 2007. ISBN: 978-84-612-0858-6
- Idae. *Biomasa: Edificios*. Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía. Madrid, 2007. ISBN: 978-84-9666019-4
- Ruiz-Celma A. "Modelización de plantas de biomasa para generación de energía eléctrica". Tesis doctoral, Universidad de Extremadura (2003)
- Rey-Martinez F, Velasco-Gómez E. *Eficiencia energética en edificios. Certificación y Auditorías Energéticas*. Thomson. (2006). ISBN: 978-84-9732419-9
- Suárez-Gonzalez TV. "Instalación de Biomasa del Hospital del Oriente de Asturias". 16º Congreso Nacional de Hospitales. Cáceres, junio 2009.
- García Sanz-Calcedo J. "Centros de Salud de Alta Eficiencia Energética y Medio-ambiental". 20th Congress of the International Federation of Hospital Engineering. Barcelona, octubre 2008
- Thormark C. "A low energy building in a life cycle its embodied energy, energy need for operation and recycling potential". Department of Building Science. Lund Institute of Technology. *Building and Environment*. Vol. 37, Issue 4, p. 429-435 (2002)
- Pérez C, López-Rodríguez F, Ruiz Celma A. "Potencial of Forest Biomass in Extremadura and its Energy Explotation". National Congress about Renewable Energy. Murcia, 2005
- Rojas S et al. *Potencial energético de residuos concentrados de la vid en Extremadura y Alentejo*. Junta de Extremadura, 1999
- Garcia Sanz-Calcedo J. *Análisis sobre la sensibilidad energética y medioambiental de los parámetros funcionales en los Centros Salud de Extremadura*. Universidad de Extremadura (2009). ISBN: 978-84-692-6740-0
- López-Rodríguez F, García Sanz-Calcedo J, Pérez C, Ruiz A. "Gestión Energética en Centros Sanitarios". *El Médico* Vol. 997. p. 12-18 (2006)
- García Sanz-Calcedo J, Cuadros F, López F. "Análisis sobre la sensibilidad energética de los parámetros de diseño de los Centros Sanitarios". Congreso Científico Internacional de Ingeniería. Tetuán, Marruecos. p. 47-53 (2010). ISBN: 978-84-6930155-5
- Intergovernmental Panel On Climate Change. "The Fourth Assessment Report". Organización Meteorológica Mundial y Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2007)
- Omil B, Piñeiro V, Merino A. "Trace elements in soils and plants in temperate forest plantations subjected to single and multiple applications of mixed wood ash". *Science of the Total Environment*, Vol. 381, p. 157-168. (2007)
- Mota C, Alcaraz-López C, Iglesias M, Martínez-Ballesta 1MC, Carvajal M. *Investigación sobre la absorción de CO_2 por los cultivos más representativos de la región de Murcia*. Departamento de Nutrición Vegetal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. (2010)
- Sartori I, Hestnes AG. "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". Department of Architectural Design, History and Technology, Norwegian University of Science and Technology. *Energy and Buildings*. Vol. 39, Issue 3, p. 249-257 (2007)
- Corretger M. "Incidencia del Mantenimiento en la gestión energética en los edificios". *Ingeniería Hospitalaria* Vol. 39. p. 4-22. (2008)
- Eisner H. *Ingeniería de sistemas y gestión de proyectos*. Asociación Española de Normalización. (2000). ISBN: 84-8143250-4
- Bouchy F. *Le Management de la Maintenance. Évolution et mutation*. Asociación Española de Normalización. (1999). ISBN: 84-8143160-5