

MONITORIZACIÓN DE PARÁMETROS DE FUNCIONAMIENTO DE UNA INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA PARA UNA RESIDENCIA UNIVERSITARIA

Fernando López

Universidad de Extremadura

Cosme Segador

Daniel Encinas

Juan Manuel Cosme

Leilén Cuadros

Agencia Extremeña de la Energía

Abstract

Nowadays monitoring of energy facilities is a technique that allows to know what is the potential savings of a facility and the keys to achieving these savings.

Monitoring consists in determining demands and actual energy losses, identify patterns of consumption and evaluate the performance of solar thermal energy and its benefits. It is also a useful tool for the detection of incidents and remote supervision, to correct any deficiencies in the operation of these installations.

The study of monitoring data has been done on the thermal solar system existing in a dormitory building for the city of Badajoz. The aim of the solar thermal installation is to supply hot water for the building and as a support system it uses a natural gas boiler, achieving a cover factor as close as possible as the one in the provisions of the Document HE4 of the Spanish Building Technical Codes.

The analysis consisted, through the monitoring data, in assessing performance, solar covering of the demand and savings from the energy contribution provided by the solar installation. In this way, provides a comparison of these results with those reported in the technical project of the facility through the method of calculating F-Chart (Duffie and Beckman, 1991).

Keywords: *Monitoring, Solar thermal energy, Performance*

Resumen

La monitorización de instalaciones energéticas es hoy una técnica que permite conocer realmente cual es el potencial de ahorro de una instalación y las claves para conseguir ese ahorro.

Se trata de determinar demandas y pérdidas energéticas reales, identificar perfiles de consumos y evaluar el rendimiento de las instalaciones solares térmicas así como sus prestaciones energéticas. Constituye además una herramienta muy útil para la detección de

incidencias y supervisión a distancia, con el fin de corregir posibles deficiencias en el funcionamiento de estas instalaciones.

El estudio de los datos de monitorización se ha realizado sobre la instalación solar térmica existente en un edificio destinado a residencia universitaria en la ciudad de Badajoz. El objeto de la actual instalación solar térmica es garantizar el servicio de agua caliente sanitaria utilizando como sistema de apoyo una caldera de gas natural, con una cobertura lo más cercana posible a lo establecido en el documento HE4 del Código Técnico de la Edificación.

El análisis efectuado ha consistido, a través de los datos de la monitorización, en evaluar los rendimientos, la cobertura solar y los ahorros obtenidos con el aporte energético proporcionado por la instalación solar. De esta manera, se establece una comparativa de estos resultados con los recogidos en el proyecto técnico de la instalación a través del método de cálculo F-Chart (Duffie and Beckman, 1991).

Palabras clave: Monitorización, Energía solar térmica, Rendimientos

1. Introducción

La sustitución del actual modelo energético y la implantación por uno más tolerante con el medio natural constituye un proceso de transición que debemos asumir. En este contexto, nuestro país cuenta actualmente con un alto nivel de desarrollo en tecnologías de generación de electricidad y calor, así como de sustitutivos de derivados del petróleo para cubrir las necesidades energéticas en nuestra sociedad y de una legislación y planificación adecuada. (Plan de Energías Renovables 2011-2020, 2011).

Las normativas europeas sobre reducción de emisiones de CO₂ y de eficiencia energética unidas a la normativa DB-HE sobre el ahorro energético derivada del Código Técnico de la Edificación (CTE) (Documento Básico HE4. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, 2006), promueven la puesta en marcha de medidas de mejora de la eficiencia energética en edificios mediante la disminución de las demandas y la cobertura de las mismas con energías renovables. La puesta en marcha de esta norma no ha conseguido alcanzar las cuotas de implantación previstas en cuanto a superficie instalada. Por un lado, el grado de cumplimiento del CTE no ha sido el esperado. Por otro, las razones técnicas tales como sobreproducción o sombras en el primero de los casos o las razones de protección del patrimonio Histórico-Artístico en cascos histórico en el segundo, unido a la parada del sector de la construcción ha determinado que el resultado no sea el esperado.

Otro factor importante se debe al desconocimiento técnico para el dimensionamiento o construcción de las instalaciones, lo que determina un funcionamiento deficiente de las mismas, en un porcentaje elevado.

Las instalaciones solares térmicas son hoy en día una tecnología madura, cuyo principio de funcionamiento resulta sencillo y se conoce con bastante detalle (Guía de Diseño, Montaje y Gestión de proyectos de Instalaciones Solares térmicas, 2009). No obstante, la ausencia de dispositivos de medida, hace que se desconozcan los resultados finales en relación con la previsiones, lo que motiva la necesidad de monitorizar las instalaciones solares térmicas, a través de la cual es posible determinar demandas y pérdidas reales, identificar perfiles de

uso y evaluar el rendimiento de las distintas configuraciones así como las prestaciones energéticas. Constituye además una herramienta muy útil para la detección de incidencias y supervisión a distancia con el fin de corregir posibles deficiencias en el funcionamiento de estas instalaciones.

2. Edificio objeto

El estudio de los datos de monitorización que se aborda en el presente artículo se ha realizado sobre la instalación solar térmica existente en un edificio destinado a residencia universitaria en la ciudad de Badajoz (“Residencia Universitaria Hernán Cortés”), cuya instalación fue promovida por la Excm. Diputación de la citada provincia. Dicha residencia, con capacidad para 150 estudiantes, poseía una instalación anterior con caldera de gas natural que proveía de agua caliente sanitaria (ACS) a la residencia. El objeto de la actual instalación solar térmica es garantizar el servicio de ACS utilizando como sistema de apoyo la caldera de gas natural, con una cobertura lo más cercana posible a lo establecido en el HE4 del Código Técnico de la Edificación, teniendo en cuenta las particularidades de su ubicación y uso estacional, puesto que al ser una residencia universitaria, la misma se vacía en los periodos vacacionales que contempla el curso académico. No obstante, la instalación objeto no tiene por qué cumplir estrictamente las exigencias del HE4 al no ser un edificio de nueva construcción o con remodelaciones importantes.

En el análisis efectuado sobre dicha instalación a través de los datos obtenidos en la monitorización se han evaluado las energías transferidas y pérdidas en los diferentes sistemas, con el fin de determinar rendimientos, la cobertura solar y los ahorros obtenidos con el aporte energético proporcionado por la instalación solar. De esta manera, se podrá evaluar comparativamente estos resultados con los recogidos en el proyecto técnico de la instalación (Segador Vegas y Encinas Martín., 2008), donde se estimaron las necesidades energéticas, rendimientos y coberturas a través del método de cálculo F-Chart (Duffie and Beckman, 1991), recomendado por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE) para este tipo de instalaciones.

3. Materiales y métodos

3.1 Proceso de monitorización

Como se señala anteriormente, el análisis se ha llevado a cabo a partir de los datos de monitorización recogidos por una centralita de control que, además de registrar los datos de funcionamiento, debe asegurar el máximo aprovechamiento de la energía solar y un uso correcto de la energía auxiliar.

La centralita posee doce entradas analógicas a las que están conectadas once sondas de temperatura, colocadas adecuadamente para medir las temperaturas de los fluidos en puntos determinados de los circuitos con el fin de evaluar el aporte y consumo de energía . Posee también una sonda de radiación para calcular la energía incidente sobre el campo de captación, con la misma inclinación dada a los captadores. Además, la centralita posee cuatro entradas digitales conectadas a los caudalímetros existentes en la instalación, para determinar los caudales movidos por las bombas de circulación.

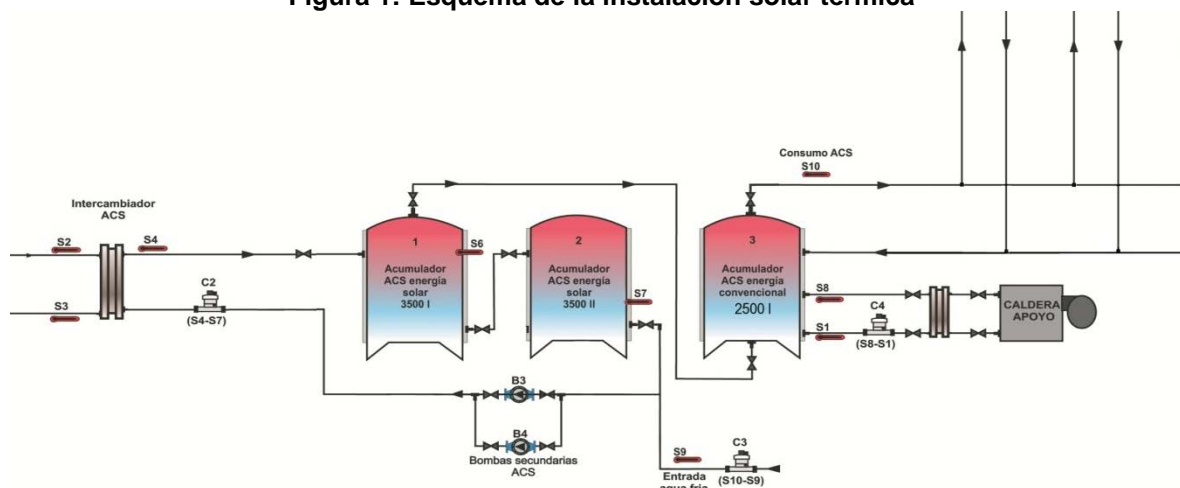
Todos estos datos son monitorizados en tiempo real a través de la aplicación informática que posee la centralita de control. Se puede, a través de la misma, controlar el funcionamiento de las bombas de circulación además de otros parámetros. Dicha aplicación permite la descarga de los datos de monitorización almacenados y el volcado a una hoja de cálculo para su análisis.

3.2 Instalación solar térmica

La instalación en cuestión está formada por un total de 56 captadores solares dispuestos en 14 agrupaciones de 4 captadores cada una, conformando una superficie absorbadora total de 124,36 m² (Segador Vegas y Encinas Martín., 2008). La conexión entre las agrupaciones y los captadores está hecha en paralelo, utilizando la técnica de retorno invertido.

El fluido caloportador transfiere la energía captada a través del intercambiador, cediendo energía térmica al ACS, la cual es almacenada en dos acumuladores conectados en serie invertida de 3500 litros cada uno provistos de aislamiento de poliuretano inyectado de 8mm de espesor. Los acumuladores se conectan en serie invertida para favorecer una mejor estratificación del agua acumulada, como puede observarse en la anterior figura 1.

Figura 1: Esquema de la instalación solar térmica



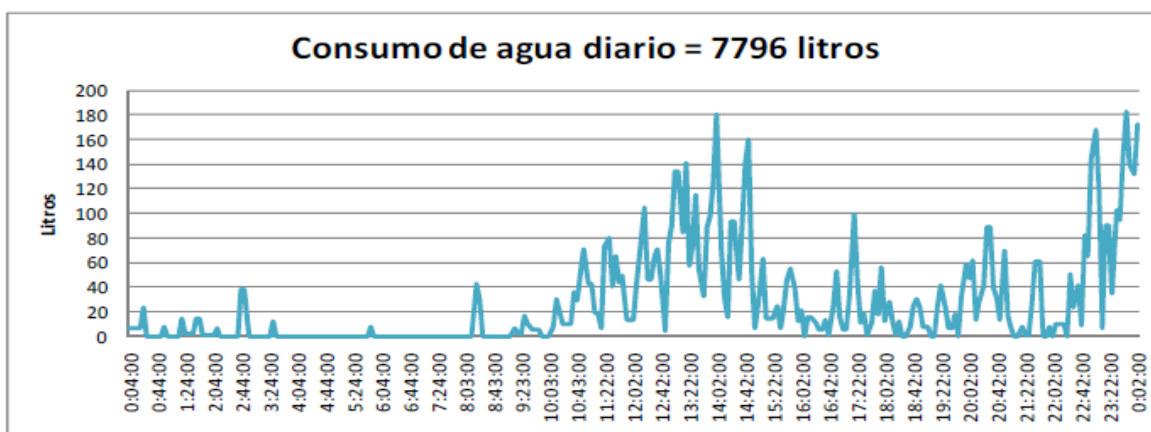
Nota: El agua caliente sanitaria (ACS) procedente del intercambiador entra en el acumulador solar 1 por la parte alta de éste, el cual está conectado en serie al acumulador solar 2, que dispone en su parte baja de una conexión de salida del ACS acumulada hacia el intercambiador. Por la misma conexión al depósito entra el agua de red al acumulador solar II cuando se produce demanda de ACS en algún punto de consumo

El ACS almacenada en los acumuladores solares es calentada por el sistema auxiliar desde su salida de la acumulación solar hasta la temperatura de consigna, establecida en 60°C. Dicho sistema, compuesto por el conjunto caldera de apoyo, intercambiador y acumulador de 2500 litros, aporta la energía térmica necesaria al ACS hasta la temperatura de consigna. A partir de aquí se distribuye el ACS a través del anillo de recirculación hacia los distintos módulos de la residencia para llegar hasta los distintos puntos de consumo.

3.3 Metodología

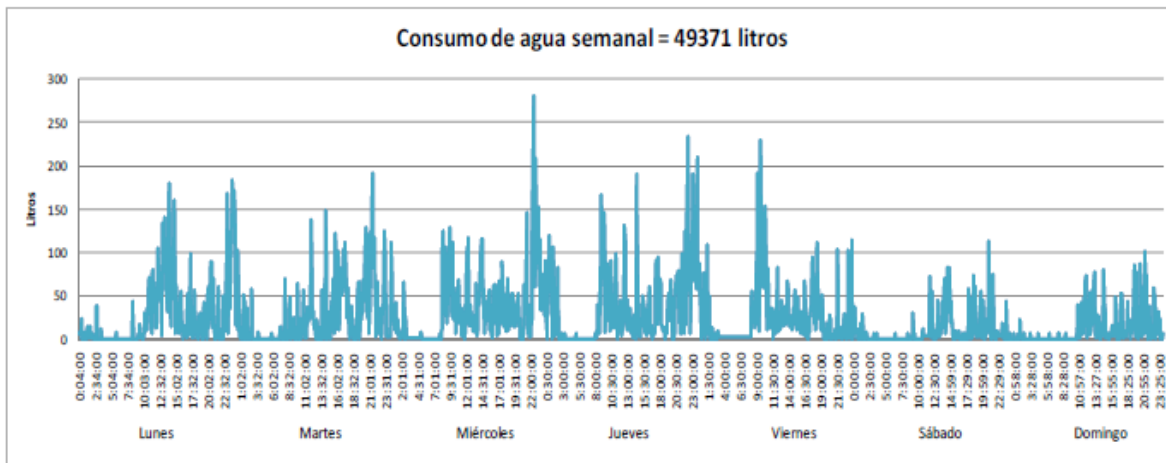
El estudio de rendimientos llevado a cabo sobre la instalación solar térmica, se ha realizado a partir de los datos de funcionamiento. Se ha evaluado la energía captada por el campo de

captadores, la energía entregada al intercambiador y la transferida al circuito secundario a través de éste, o lo que es lo mismo, la energía transferida al ACS. Por otra parte se ha calculado la energía transferida por la caldera de apoyo al ACS y la empleada para cubrir las pérdidas en la recirculación del anillo de distribución. Estos cálculos se han realizado según la ley de transmisión de calor, a partir de los datos de temperatura y caudal proporcionados por las sondas.



En la figura 3 se muestra el perfil de consumo para una semana cualquiera en la residencia durante un periodo de máxima ocupación

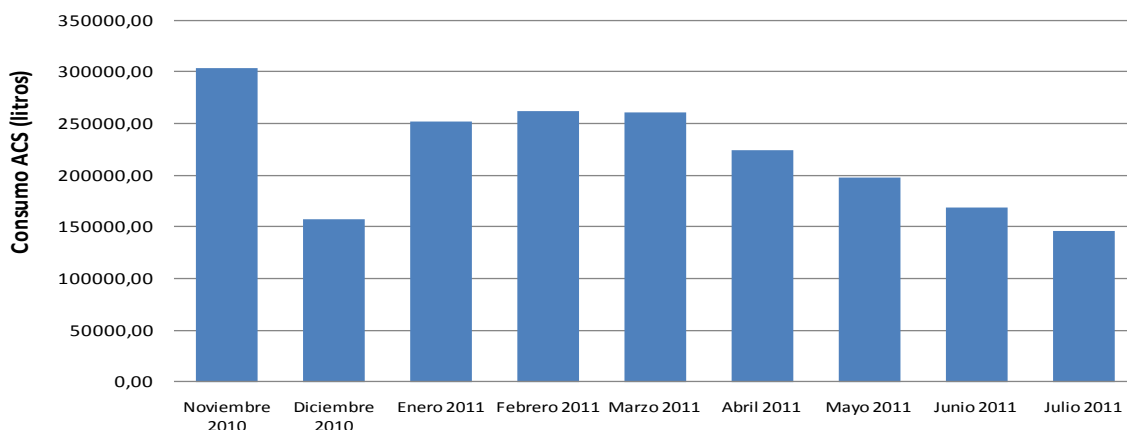
Figura 3: Perfil de consumo para una semana cualquiera de máxima ocupación



Se observa que el mayor consumo de ACS se produce durante los días laborables de la semana, mientras que durante el fin de semana el consumo es menor a causa de que los estudiantes aprovechan la ausencia de clases para volver a sus casas.

El perfil de consumo mensual obtenido durante el estudio de los meses analizados puede observarse en la figura 4.

Figura 4: Perfil de consumo mensual

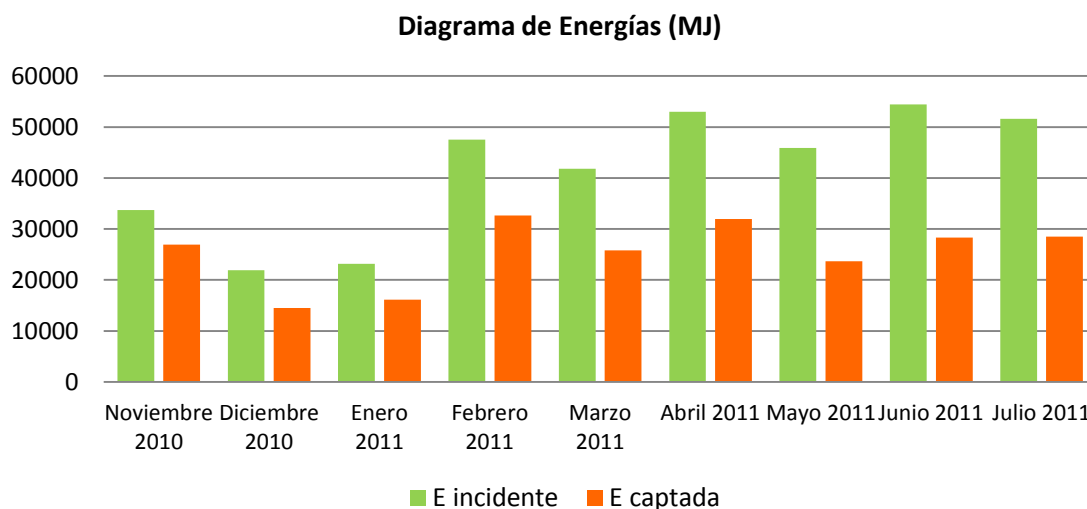


Durante los meses de otoño e invierno el consumo de ACS mensual es bastante aproximado al estimado que es de 247.500 litros mensuales. Se observa en diciembre un menor consumo motivado por los puentes festivos y las vacaciones universitarias contempladas en el calendario universitario. A partir de abril, el consumo de ACS desciende debido a la subida de las temperaturas, que implica una menor demanda de agua caliente.

4.2 Energía captada

En la figura 5 se muestra el funcionamiento del campo de captadores. En verde, se muestra la energía incidente sobre los captadores, en naranja, la energía captada por dicho sistema. Se observa que en los meses de primavera y verano la energía incidente es mayor, puesto que se dispone de un mayor número de horas de sol y mejores condiciones de irradiancia. Sin embargo, el porcentaje captado de esta energía incidente es menor en estos meses que en los meses de invierno. Esto implica que el captador tendrá un mejor rendimiento durante los meses de invierno.

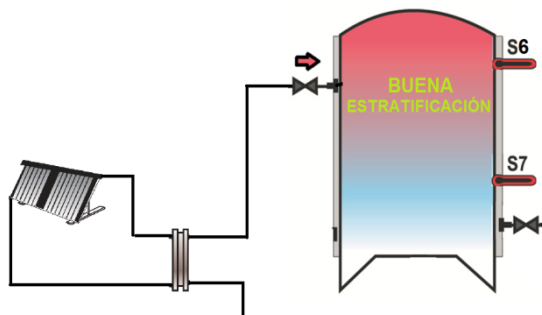
Figura 5: Diagrama de energía incidente y captada en el campo de captadores



Este comportamiento puede explicarse a través de la fórmula del rendimiento del captador (3).

Figura 6: Estratificación del acumulador

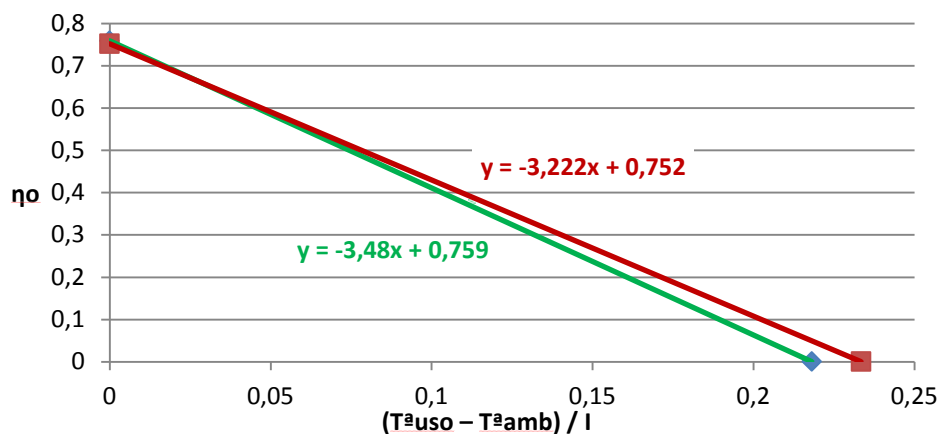
S= Sondas de temperatura



Tras estudiar la influencia de la temperatura de entrada a los captadores y de una buena estratificación en los acumuladores sobre el rendimiento de los captadores, se ha procedido a evaluar empíricamente la curva de rendimiento del captador para compararla con la proporcionada por el fabricante. El cálculo de la curva real de rendimiento se hace a través del cálculo empírico de los parámetros característicos de dicha curva, estos son, el rendimiento óptico y el coeficiente global de pérdidas. Éste último se obtiene por regresión lineal a través de un gráfico de dispersión en el que se representa el rendimiento óptico frente al factor que acompaña al coeficiente global de pérdidas en la curva de rendimiento. Se realiza el ajuste lineal para cada uno de los meses analizados, obteniendo los parámetros medios de rendimiento óptico y coeficiente global de pérdidas. Comparándolos con los proporcionados con el fabricante, ambas curvas se aproximan bastante. El comportamiento real de los captadores se ajusta al comportamiento teórico dado por el fabricante de forma bastante fiable.

En la figura 7, en verde, se muestra la curva de rendimiento teórica proporcionada por el fabricante. En roja, la curva de rendimiento calculada empíricamente.

Figure 7: Evaluación de la curva de rendimiento del captador



Tras la evaluación de la curva de rendimiento del captador, se ha evaluado el rendimiento en la captación, con el fin de estimar qué porcentaje de la energía incidente procedente del Sol es aprovechada por la instalación solar. Este rendimiento medio es de un 61,13 %, como se aprecia en la tabla 1.

Tabla 1: Cálculo del rendimiento en la captación

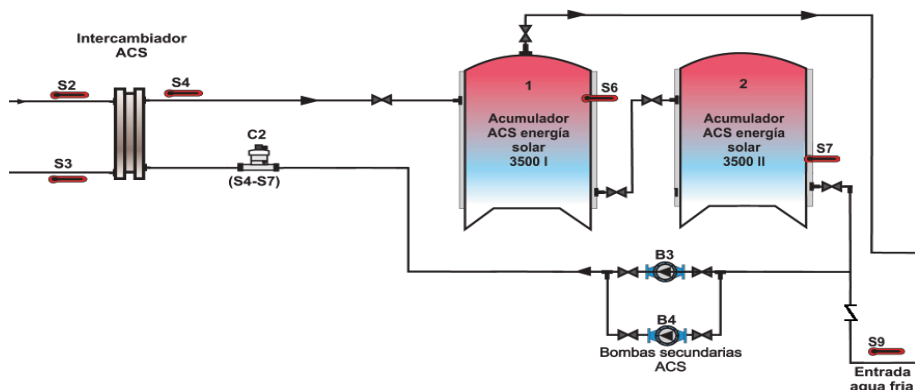
Días	E incidente (MJ)	E captada (MJ)	Rendimiento en la captación	
Noviembre 2010	30	32604,89	26080,77	0,80
Diciembre 2010	31	21913,10	14501,28	0,66
Enero 2011	31	23153,58	16100,78	0,70
Febrero 2011	28	42939,96	29458,21	0,69
Marzo 2011	31	41832,66	25829,21	0,62
Abril 2011	30	51274,74	30924,29	0,60
Mayo 2011	31	45877,42	23683,96	0,52
Junio 2011	30	52672,48	27394,24	0,52
Julio 2011	31	51606,96	28479,51	0,55
		363875,80	222452,26	61,13%

La energía captada es entregada al intercambiador donde se produce la transferencia de calor al fluido secundario. Existen unas pérdidas en el circuito primario, de manera que no toda la energía captada es entregada al intercambiador. Así mismo, existen pérdidas en el intercambiador que determinarán el rendimiento del mismo, de manera que no toda la energía entregada por el primario al intercambiador va a ser transferida al secundario.

Las sondas de temperatura colocadas a la entrada y salida del intercambiador en los circuitos de primario y secundario, figura 8, van a permitir evaluar la energía transferida en el intercambiador, con el fin de determinar el rendimiento del mismo. De forma análoga al cálculo de la captación, el rendimiento medio en el intercambiador es del 85,96 %.

Figura 8: Esquema de monitorización de circuitos

S= Sondas de temperatura; C= Caudalímetro; B=Bombas de circulación

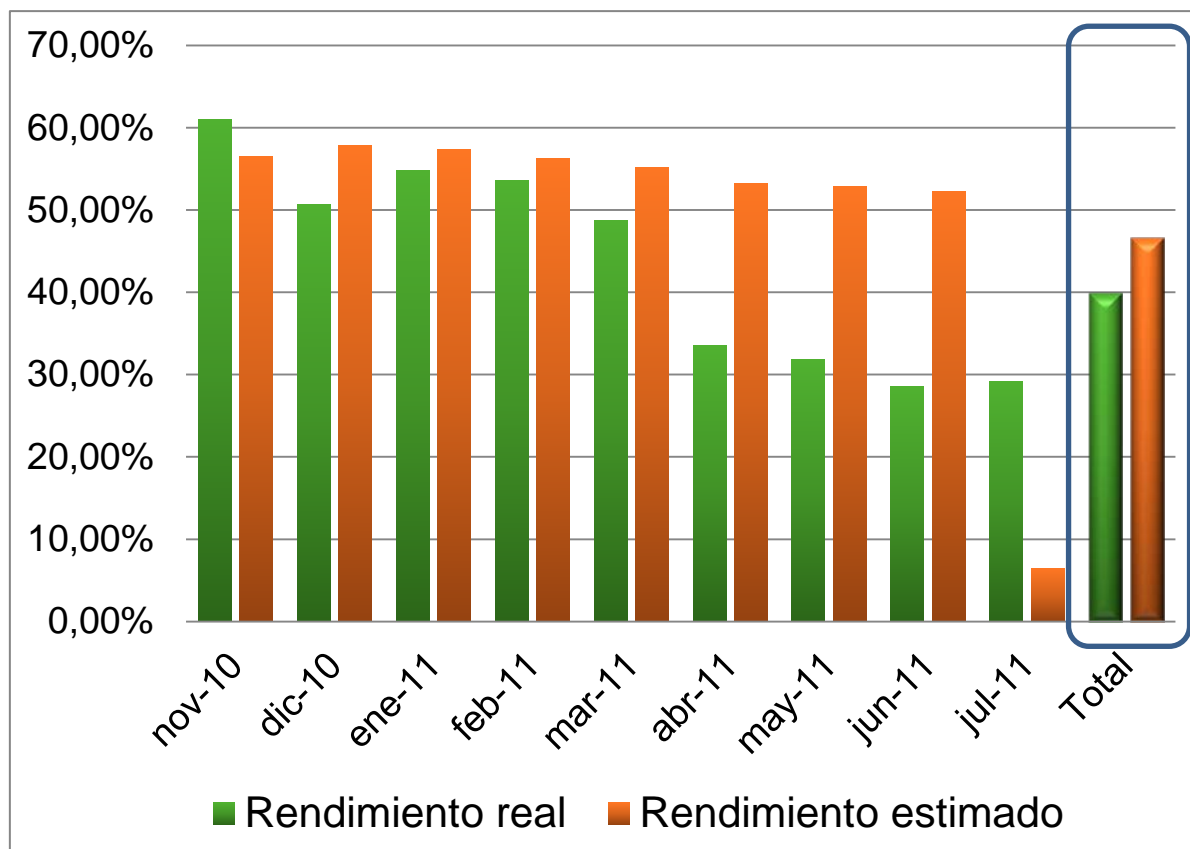


4.3 Rendimiento medio de la instalación

En la figura 11, se comparan los rendimientos medios obtenidos mediante el análisis de los datos de funcionamiento y los estimados en el proyecto técnico a través de la herramienta de cálculo F-Chart..

El rendimiento medio se calcula como el calor útil aportado al sistema entre la energía incidente sobre el campo de captadores.

Figura 11: Comparación rendimiento real y rendimiento estimado



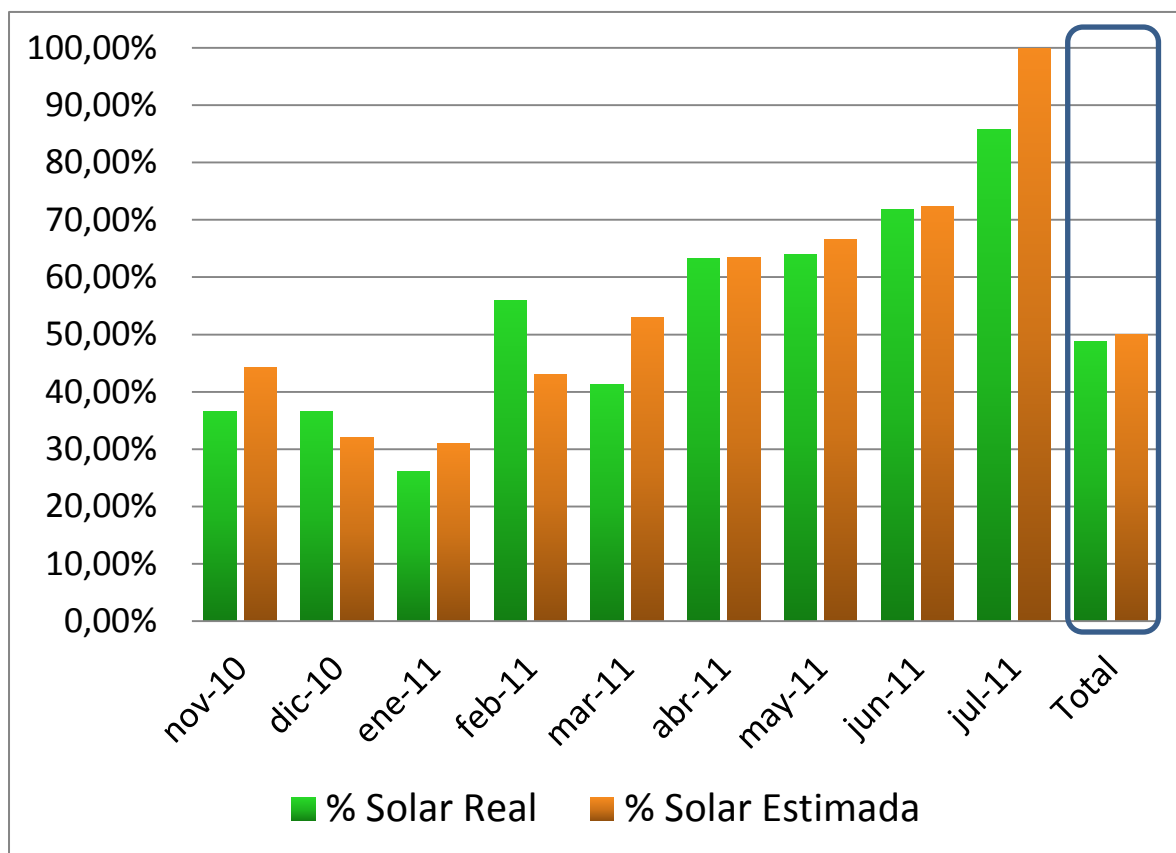
El rendimiento medio real de la instalación alcanza el 40%, mientras que el rendimiento estimado en el proyecto técnico es del 46%, figura 11. Aparte de la diferencia en el consumo estimado de ACS, existen otros factores que explican la variación en los rendimientos obtenidos, tales como el salto térmico que hay que proporcionar al agua de red para cubrir las necesidades del ACS. Como se observa en la figura 11, el rendimiento real es sensiblemente menor que el rendimiento estimado a partir de las tablas de radiación y temperaturas de CENSOLAR (Centro de Estudios de la Energía Solar). Esto es debido a que la temperatura media real del agua de red es mayor que la obtenida a partir de las citadas tablas.

4.4 Cobertura solar

La cobertura solar es el porcentaje de la energía total aportada al ACS proveniente de la instalación solar. Se ha calculado como el cociente entre la energía solar aportada al ACS por el campo solar y la energía total aportada al ACS por la instalación, esta es, la que

aporta la instalación solar más la que aporta la caldera de apoyo, habiendo descontado a esta última la parte empleada en cubrir las pérdidas en el anillo de distribución.

Figura 12: Comparación entre la cobertura solar real y la cobertura estimada



La cobertura solar de la instalación calculada según el método F-Chart en el proyecto técnico para los meses analizados fue del 50%. La cobertura real calculada a partir de los datos de funcionamiento de la instalación para los mismos meses ha sido del 48,8%. En esta situación, los ahorros en combustible, para este caso gas natural, conseguidos por la instalación solar térmica para garantizar el servicio de ACS alcanzan en torno al 50%, lo que ha supuesto un ahorro económico de 2209€ para los nueve meses analizados. Esto supone una reducción de las emisiones de CO₂ de en torno al 45% (Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. (GEI), 2011).

5. Conclusiones.

Es necesario realizar una planificación adecuada de la monitorización para poder obtener resultados y compararlos con los resultados teóricos. Se ha comprobado que un emplazamiento inadecuado de las sondas proporciona datos erróneos que inducen a resultados incongruentes en los cálculos realizados de energías y rendimientos. La posición de la sonda S₇ modificaría sustancialmente los resultados obtenidos en la figura 7.

Resulta conveniente, favorecer la estratificación en los acumuladores para que el funcionamiento de la instalación sea correcto, ya que el mismo depende de las medidas de temperatura registradas por las diferentes sondas colocadas a diferentes alturas en los acumuladores. La estratificación asegura el máximo aprovechamiento de la energía solar

por parte de la instalación, permitiendo a las sondas de temperatura que registren diferencias que permitan poner en marcha las bombas de circulación. Con el fin de prevenir averías por sobrecalentamientos es recomendable la instalación de aerotermos u otros dispositivos disipadores de calor, para evitar la evaporación del fluido caloportador, apertura de válvulas y el consecuente vertido del líquido.

Para llevar un control de funcionamiento de la instalación es preciso realizar un seguimiento periódico de la misma, para corregir y prevenir posibles averías, siendo ésta una de las grandes ventajas de la monitorización de instalaciones.

6. Referencias

Centro de Estudios de la Energía Solar (CENSOLAR). <http://www.Censolar/>.

Código Técnico de la Edificación (CTE), Documento Básico HE4.(2006). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba.

Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. (2009) .Directiva de 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009I.

Duffie J.A.and, Beckman W.A, .(1991). "Solar Engineering of Thermal Processes". New York, John Wiley & Sons, 3ª Edición.

Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero. (GEI). Generalitat de Catalunya. (2011). Comisión Interdepartamental del Cambio Climático.

Guía de Diseño, Montaje y Gestión de proyectos de Instalaciones Solares térmicas. Edición para Profesionales.(2009): *Agencia Extremeña de la Energía*. Junta de Extremadura.

Instalaciones de Energía Solar Térmica: Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura. (2006). Instituto de Diversificación y Ahorro Energético.(IDAE).

Plan de Energías Renovables 2011-2020. (2011). Instituto de Diversificación y Ahorro Energético (IDAE).

Segador Vegas, C. y Encinas Martín, D. (2008). Proyecto Instalación Solar Térmica para ACS en R.U Hernán Cortés. AGENEX.