



ENSAYO 1.
CALEFACCIÓN CON ENERGÍA SOLAR TÉRMICA.

GOBIERNO DE EXTREMADURA

Consejería de Fomento, Vivienda,
Ordenación del Territorio y Turismo

Dirección General de Arquitectura y Vivienda



Proyecto Cofinanciado por el Programa **Life** de la Comunidad Europea





Ensayos de Estrategias Activas

Los ensayos de estrategias activas han tenido como finalidad estudiar el funcionamiento, consumo, rendimiento y prestaciones de las instalaciones convencionales y de alta eficiencia de los Demostradores Experimentales EDEA.

Estos ensayos nos sirven para conocer la realidad de estos equipos en el clima extremeño, obteniéndose los datos necesarios para calcular su coste real, su consumo y la problemática que pudieran presentar en las viviendas.

Los ensayos de estrategias activas son sólo una muestra del potencial de los Demostradores Experimentales EDEA. La unión de todos los equipos actualmente instalados, las diversas combinaciones que de éstos pudieran hacerse, así como las posibles ampliaciones o instalación de equipos alternativos en un futuro, hablan del potencial de los Demostradores Experimentales y de su flexibilidad para poder realizar cualquier ensayo planteable en un futuro.

Los ensayos se han realizado en régimen de invierno y las instalaciones que se han estudiado han sido: bombas de calor con fan-coils, intercambiador tierra-aire con fan-coils, caldera de biomasa con radiadores y caldera de biomasa con losa térmica.

El objetivo de estos ensayos es realizar una comparativa entre los equipos e instalaciones usados en régimen de calefacción y que podemos encontrar en las viviendas extremeñas, con respecto a equipos de alta eficiencia o novedosos, poniendo de manifiesto las ventajas y desventajas de uno y otro. Al mismo tiempo, se realizará su puesta a punto y comprobará su correcto funcionamiento. usando todas las unidades terminales interiores para demostrar el confort que aporta cada una de ellas y poder compararlas entre sí.

Además, se ha buscado poner a prueba el rendimiento de equipos investigando sobre la configuración de los mismos. La bomba de calor instalada es un equipo que permite infinidad de configuraciones y equipos auxiliares, por eso hemos estudiado también los consumos en función de algunos parámetros internos.

En general lo que pretendemos es saber cuánto nos puede costar cada estrategia en nuestro clima, de forma que sirva a los usuarios para extraer conclusiones y tomar las decisiones basándose en estudios reales realizados en viviendas similares y en un clima como el suyo, aunque los resultados serían perfectamente extrapolables a otras poblaciones.

Ensayo de Estrategia Activa 1: Calefacción con solar térmica + losa termoactiva vs. Bomba de Calor Convencional + Fan-Coils.

Introducción

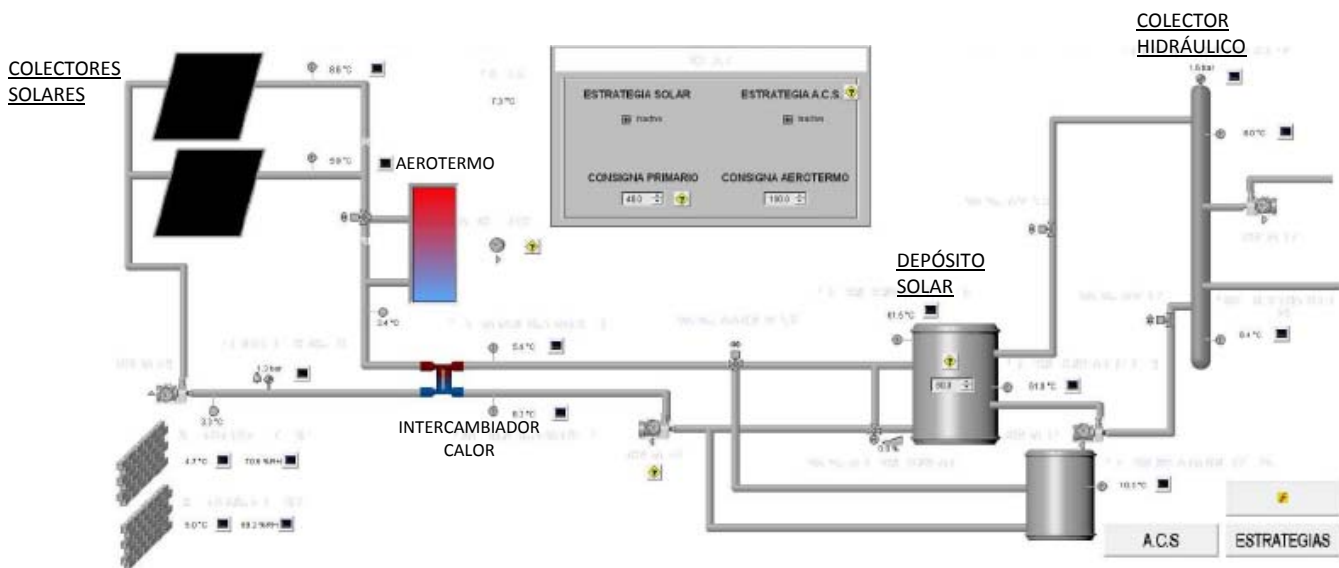
Las instalaciones solares térmicas permiten calentar fluidos, normalmente agua, por lo que se utilizan en aquellas aplicaciones en las que es necesario disponer de agua a temperatura superior a la ambiente, como por ejemplo, producción de agua caliente sanitaria y apoyo a la calefacción.

Efectivamente, las instalaciones solares térmicas pueden utilizarse para apoyar al sistema de calefacción. Sin embargo, esta es una aplicación menos rentable que la producción de agua caliente, ya que en los momentos en que existe un mayor aporte solar (verano) no es necesario la calefacción, y viceversa, en los momentos de mayor demanda de calefacción (invierno), el aporte solar será menor.

Por otro lado, la aplicación de la energía solar térmica a la calefacción necesita que las unidades terminales que van a transmitir ese calor a la vivienda sean de baja temperatura (suelo radiante o losa termoactiva, radiadores de baja temperatura, fan-coils), no siendo aconsejable para otros sistemas en los que es necesario disponer de temperaturas de agua muy elevadas (radiadores convencionales).

En la teoría se considera que una superficie de paneles térmicos de un metro cuadrado por cada 10 metros cuadrados de superficie a calefactar, reducirá entre un 20 y un 35% el consumo energético de calefacción (con unidades terminales de baja temperatura). Será uno de los datos que vamos a estudiar con este ensayo real.

En EDEA disponemos de 48 m² de superficie de paneles térmicos, con lo cual no sólo podremos utilizar la instalación como apoyo a la calefacción sino utilizar esta instalación como única fuente generadora de calefacción. Además podremos extrapolar los resultados de esta instalación para instalaciones más pequeñas calculando la superficie idónea de energía solar térmica a colocar teniendo en consideración parámetros como la inversión, el retorno y el ahorro conseguidos con respecto a instalaciones convencionales.



Objetivo

Evaluar las diferencias de funcionamiento, especialmente desde el punto de vista de la eficiencia energética y la sostenibilidad, de una instalación solar térmica y todos sus componentes respecto de una instalación convencional, así como analizar las condiciones de confort alcanzadas en invierno en el interior de las viviendas con estos sistemas, diferente por las distintas unidades emisoras habituales de cada una de ellas (fan-coils en la bomba de calor y losa térmica en la instalación solar térmica).

Evaluar el rendimiento diario en función de la climatología de una instalación solar térmica.

Obtener el número mínimo de captadores necesarios para satisfacer las demandas de ACS y calefacción de una vivienda en función de su superficie y los datos económicos y de amortización de dicha instalación.

Metodología

Se activará la instalación solar térmica. ¿Cómo se realiza esta activación? Se pone en funcionamiento la bomba (B-4) que manda agua térmica del depósito solar hacia el colector hidráulico. Desde este colector se derivaría posteriormente hacia la unidad terminal que elijamos en la Vivienda Experimental. Todo esto ocurre en lo que podríamos denominar circuito terciario de la instalación solar o circuito de consumo.

¿Cómo se gestionan los circuitos primario y secundario de la instalación solar térmica? Ambos se gestionan mediante temperaturas de consigna que marcamos previamente en la instalación.

Así por ejemplo, la circulación del fluido por el circuito primario de la instalación (circuito entre captadores solares e intercambiador) sólo se produciría cuando la temperatura existente en el campo de captadores superara la temperatura de 40°C (temperatura que se considera suficiente para poder abastecer un sistema de calefacción por losa térmica (baja temperatura). En este caso, entraría en funcionamiento la bomba del circuito primario B-1. Además, en este tramo, encontramos otra temperatura de consigna y, en este caso, de seguridad, ya que se trata de la temperatura a la cual redireccionamos el fluido térmico hacia el aerotermo para refrigerar dicho fluido (normalmente lo tenemos a 100°C).

Con respecto al circuito secundario (tramo entre el intercambiador y el depósito solar), la bomba B-2 sólo entraría en funcionamiento en el momento en el que la temperatura de salida del intercambiador fuera superior a la existente en el depósito solar, es decir, cuando podamos calentar el depósito y no enfriarlo.

En este ensayo la energía contenida en el agua solar, la impulsaremos contra la losa térmica como unidad terminal por planta de la Vivienda Experimental. El consumo total de la instalación estará relacionado con la calefacción de una vivienda.

Mientras, en la Vivienda Patrón tendremos como sistema de calefacción la bomba de calor convencional con los fan-coils como unidades terminales.

La duración estimada será de 3 días completos. El horario de funcionamiento de la instalación de calefacción y la consigna de las habitaciones será constante a 20°C.

Las variables más importantes a medir serán el consumo eléctrico, el rendimiento de los sistemas, la temperatura y humedad de las zonas calefactadas.

Las sondas con referencia “VP_Ta_Pxx_x” en la Vivienda Patrón y “VE_Ta_Pxx_x” en la Vivienda Experimental son las relacionadas con la temperatura ambiente.

En situación de temperatura constante se medirá el flujo térmico para evaluar las pérdidas por cada uno de los cerramientos y tabiques en cada momento del día. Las sondas de medición del flujo térmico tienen referencias “VP_FL_Pxx”.

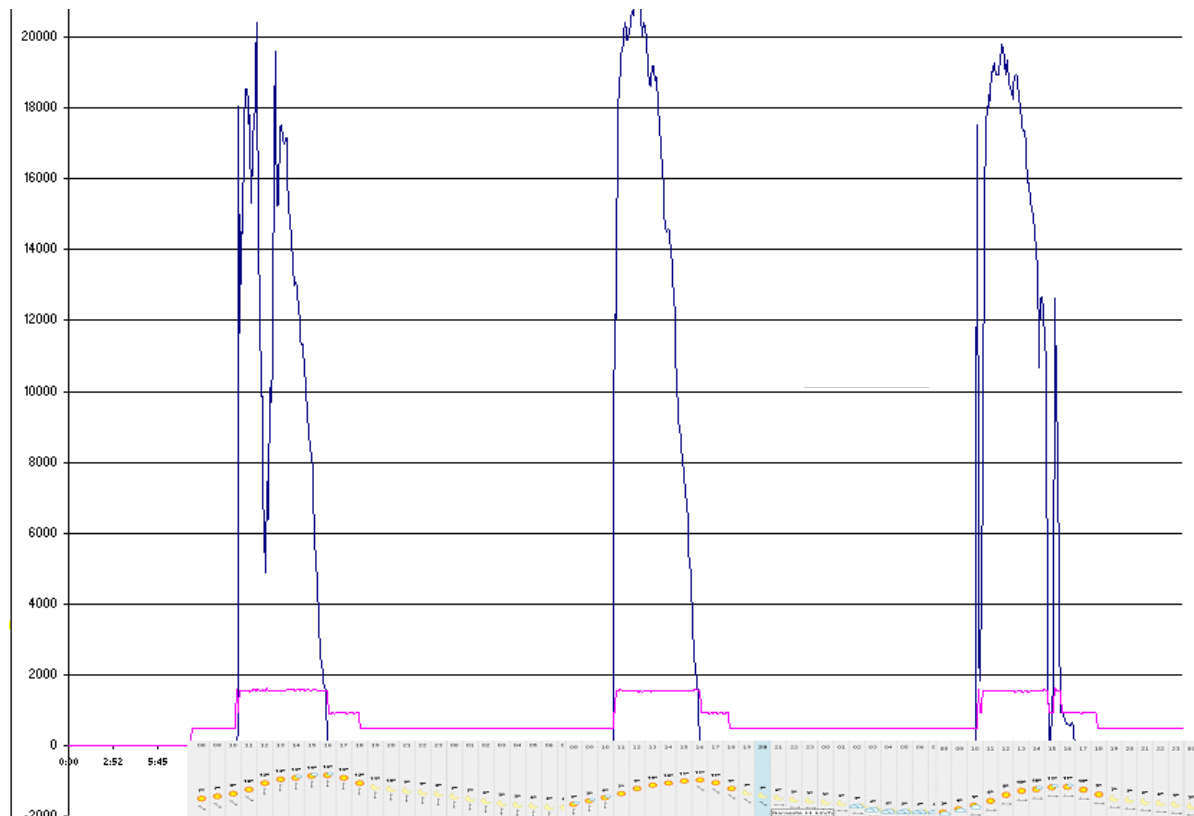
La humedad relativa de las estancias se medirá para conocer el comportamiento psicrométrico del recinto y evaluar la evolución de las diferentes valores higrotérmicos. Las sondas de humedad relativa tienen la referencia “VP_H_Pxx” en la Vivienda Patrón y “VE_H_Pxx” en la Vivienda Experimental.

Resultados del ensayo de calefacción con caldera de biomasa con losa térmica

Este ensayo se ha llevado a cabo durante dos semanas. Durante este tiempo, hemos realizado un control sobre las instalaciones para obtener los datos que pretendíamos evaluar.

Durante los días 19, 20 y 21 de noviembre de 2014 podemos evaluar la energía que se genera por el campo de captadores solares y el rendimiento de dicho campo (mediante la lectura del consumo eléctrico de la instalación completa), en función de la meteorología que hemos tenido.

En la gráfica siguiente podemos ver la energía en Watios producida en el campo de captadores solares y el consumo eléctrico de la instalación solar, además de la meteorología de este periodo de estudio. Podemos comprobar que el consumo eléctrico es un consumo que se encuentra presente en todo momento aun cuando no hay producción energética en el campo solar (horas sin sol) porque siempre hay una recirculación del fluido para evitar congelación. Observamos también que este consumo eléctrico sube cuando hay energía en el campo de captadores solares ya que entran en funcionamiento más circuitos de la instalación solar al alcanzar temperaturas de régimen o de consigna.



Para este estudio, analizaremos un periodo de tiempo comprendido entre las 21:45 del día 18 de noviembre de 2013 y las 21:47 del día 21 de noviembre de 2013, lo que significa tres días completos. En este periodo, la instalación solar térmica ha generado 2.713 kW térmicos. El consumo eléctrico ha sido de 590 kW eléctricos. El rendimiento global es de 4,59. Esto nos indica que por cada kW eléctrico que nosotros le proporcionamos a la instalación, ésta nos devuelve 4,59 kW en forma de calor utilizable, en calefacción por ejemplo.

La media diaria de este análisis energético nos arroja los siguientes resultados: 904,33 kW térmicos y 196,67 kW eléctricos.

La superficie de absorción de cada captador es de 2,37 m², por lo que la superficie de absorción total instalada es de 113,76 m², al existir 48 captadores solares instalados.

Por tanto, la potencia generada por m² es de 7,95 kW/m² de captador al día, lo que supone una energía de 237,12 kWh/m² de captador.

La energía generada por el campo completo de captadores según las gráficas es de 226,065 kWh (total). La media diaria es de 75,35 kWh/día. Por m² de captador sería 0,312 kWh/m² día.

Como la demanda de las viviendas EDEA en régimen de calefacción es de 46,78 kWh/m² año. Para una casa de 100 m² y con las características constructivas como las de EDEA, la demanda de calefacción 4.678 kWh/año.

Con los datos de energía producidos por captador, y los datos de energía necesarias para calefacción, podemos concluir que las necesidades de superficie de calefacción para una vivienda EDEA sería de 41,08 m² de superficie de captación, lo que equivale a **18 captadores**, lo cual hace que no sea rentable la instalación completa para calefacción con este tipo de energía. Sí lo hace muy interesante como instalación de apoyo a calefacción de un sistema convencional como pudiera ser una caldera de condensación de gas natural o una bomba de calor de alta eficiencia.

En este mismo ensayo, también hemos realizado un estudio de la estratificación del calor que se produce en la vivienda experimental respecto a la vivienda patrón al utilizar dos unidades terminales diferentes: losa térmica (o suelo radiante en la Vivienda Experimental) y fan-coils (en la Vivienda Patrón).

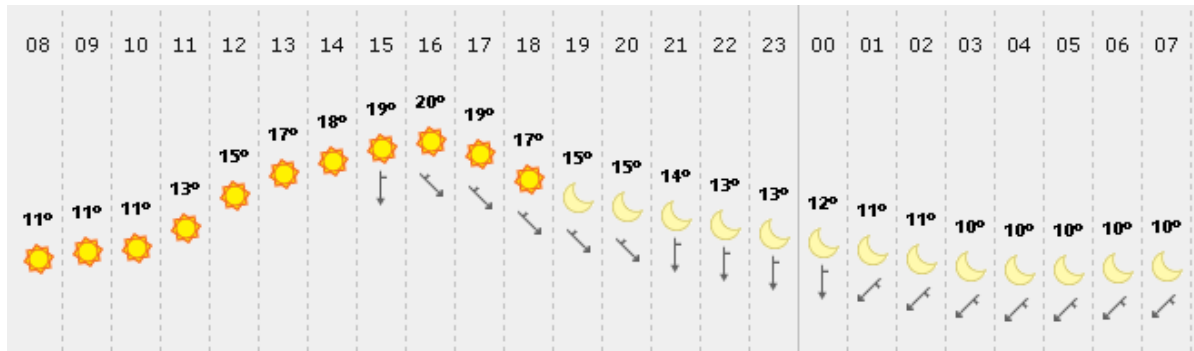
Es importante destacar el confort térmico obtenido en las estancias con esta estrategia de losa térmica. La temperatura del techo es homogénea, y por lo general, el suelo está ligeramente más caliente que el techo durante la mayor parte del tiempo. Este comportamiento es el más confortable. Sin embargo, esta unidad terminal es la que tiene un tiempo de respuesta más largo, y además, es la que necesita una mayor inversión de ejecución (el resto de unidades terminales estaría entre un 30%-40% del coste de ésta).

En la segunda parte de este ensayo, venimos a realizar una comparación entre un sistema de calefacción mediante energía solar térmica y un sistema de calefacción basado en bomba de calor de alta eficiencia. Ambos sistemas para poder ser comparables, los hemos utilizado con las mismas unidades terminales, fan-coils en ambos casos y con temperaturas de consigna de entrada y salida del agua similares, establecidas en un rango entre 35 °C y 45 °C.

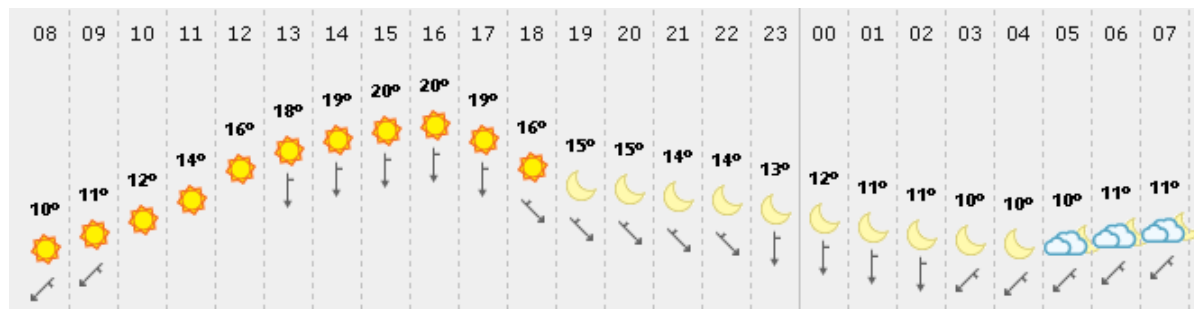
Los resultados de este ensayo se recogieron durante los días 12, 13 y 14 de noviembre de 2013 desde las 9:00 h de la mañana del primero hasta las 21:00 del último (2,5 días de ensayo). La temperatura máxima de estos días estuvo en torno a los 20°C con mínimas de hasta 7°C. Como vemos fue una temperatura elevada para esta época del año, por lo que para poder realizar un

estudio de energía con resultados, se estableció una temperatura de consigna en el interior de las viviendas de 24°C, aun no siendo la temperatura de confort ideal.

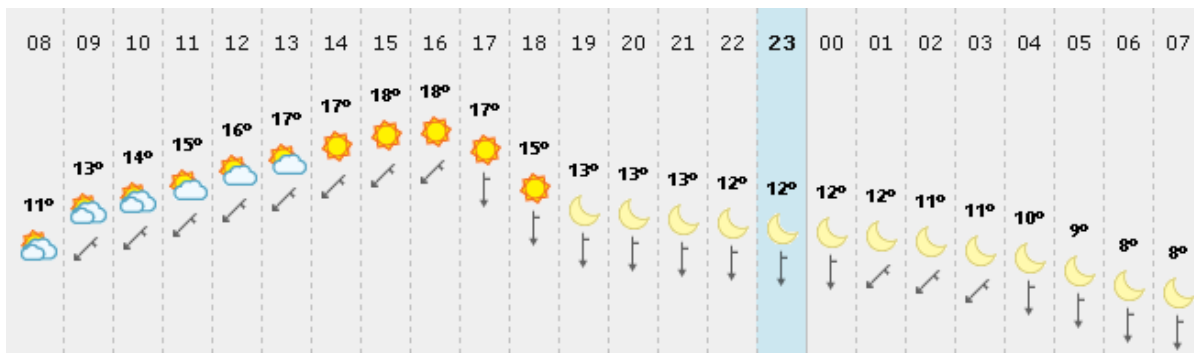
La radiación y temperatura de estos días fue la siguiente:



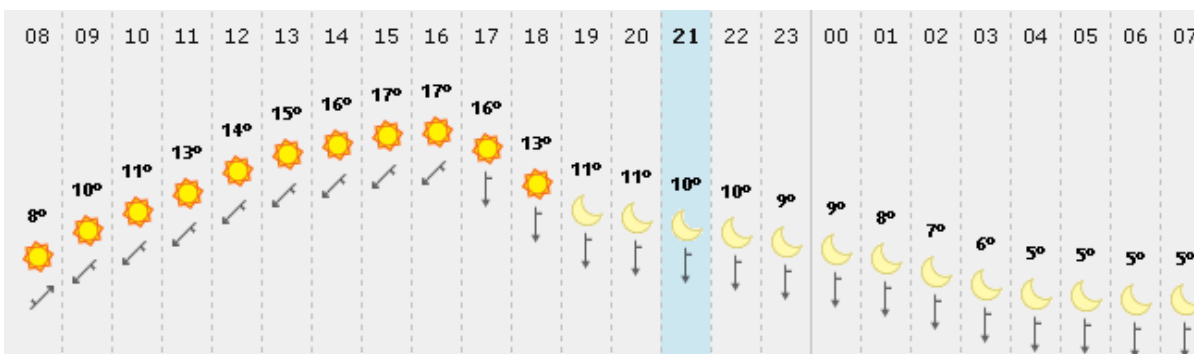
11 de noviembre



12 de noviembre



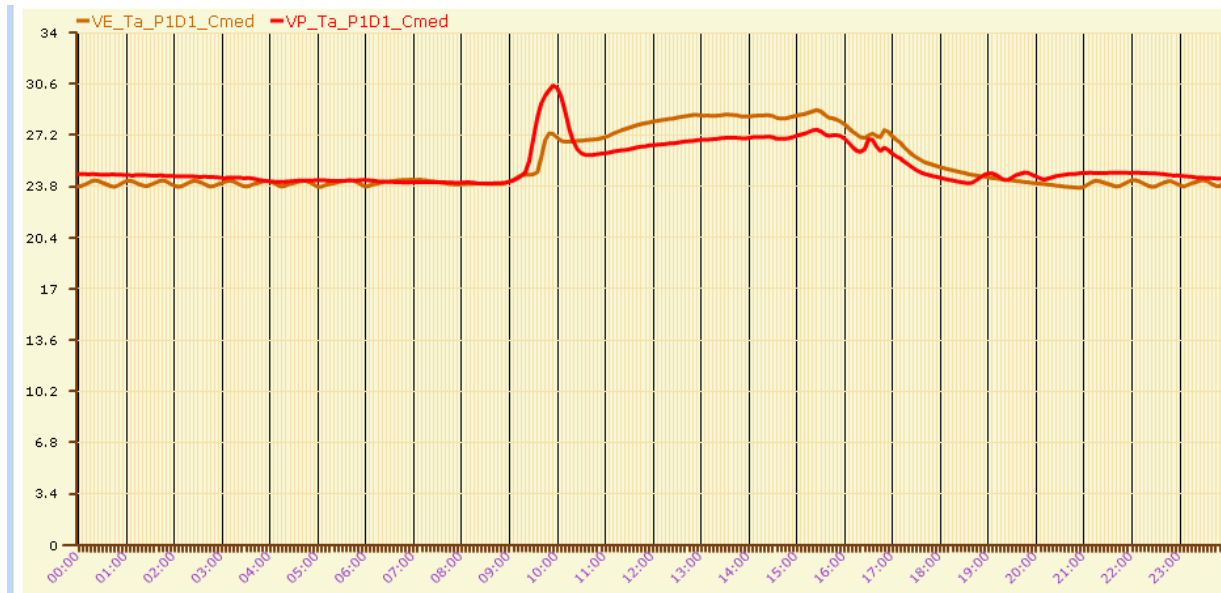
13 de noviembre



14 de noviembre

Para poder mantener en el interior de las viviendas la temperatura de consigna prefijada y establecida en 24°C, el funcionamiento de la bomba de calor es constante y entra en funcionamiento cuando la temperatura del depósito de agua, desde el que se abastece los fan-coils de la vivienda patrón, baja de cierta temperatura de consigna, con lo cual, el suministro de agua caliente para calefacción está asegurado para las 24 horas de cada uno de estos días de ensayo. En el caso de la instalación solar térmica, como podemos observar en la gráfica, a partir de las 16:40, se deja de producir agua caliente solar gratuita. Esto obliga a que el depósito solar de 3.000 l (con mucha más capacidad que el depósito de la bomba de calor de 150 l) sea el que abastezca de agua caliente la unidad terminal de la vivienda experimental que en este caso fue la losa térmica.

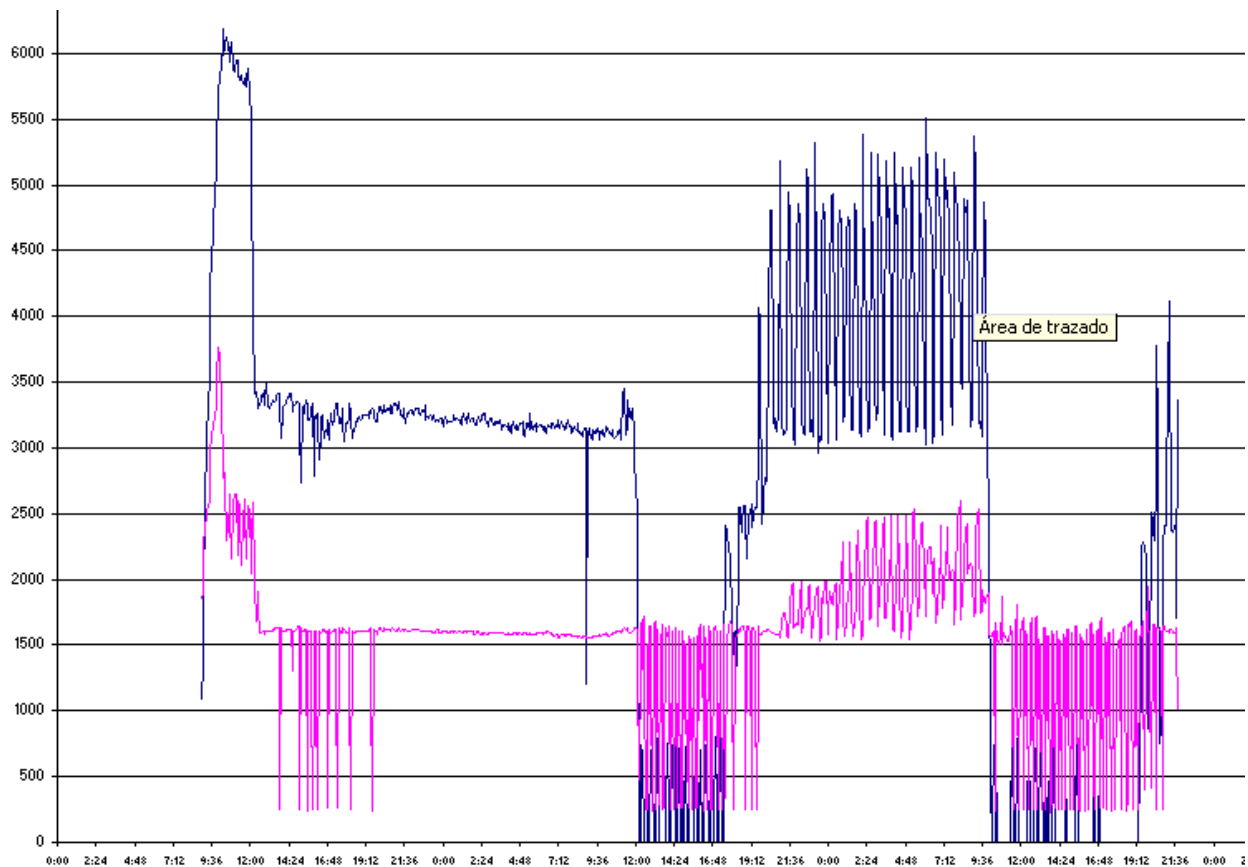
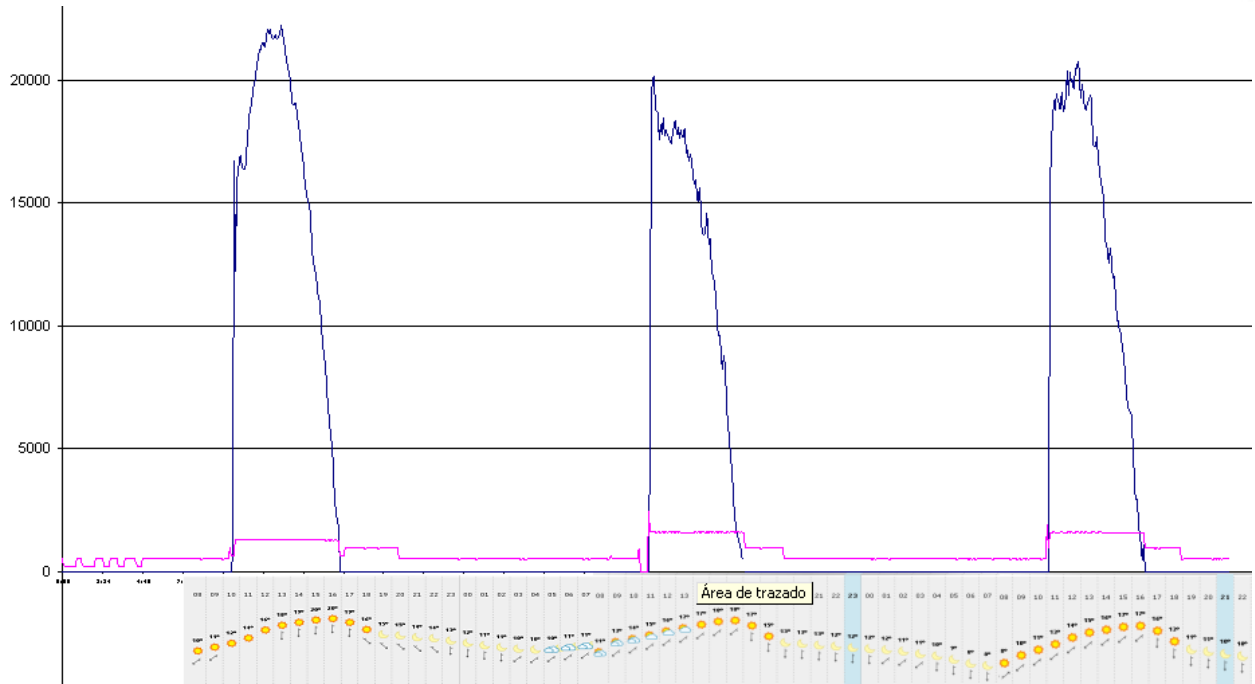
Esta es una de las primeras conclusiones que podemos destacar, la necesidad de un depósito que almacene el calor generado de mucha mayor dimensión que en el caso de energías convencionales y no intermitentes. No obstante, podemos observar cómo el comportamiento de ambas viviendas con distintos sistemas es idéntico con respecto a su comportamiento de confort interior, con lo cual vemos que la instalación solar aun cuando no hay horas de Sol puede abastecer un sistema de calefacción gracias al almacenamiento en un depósito de agua durante las horas de radiación.



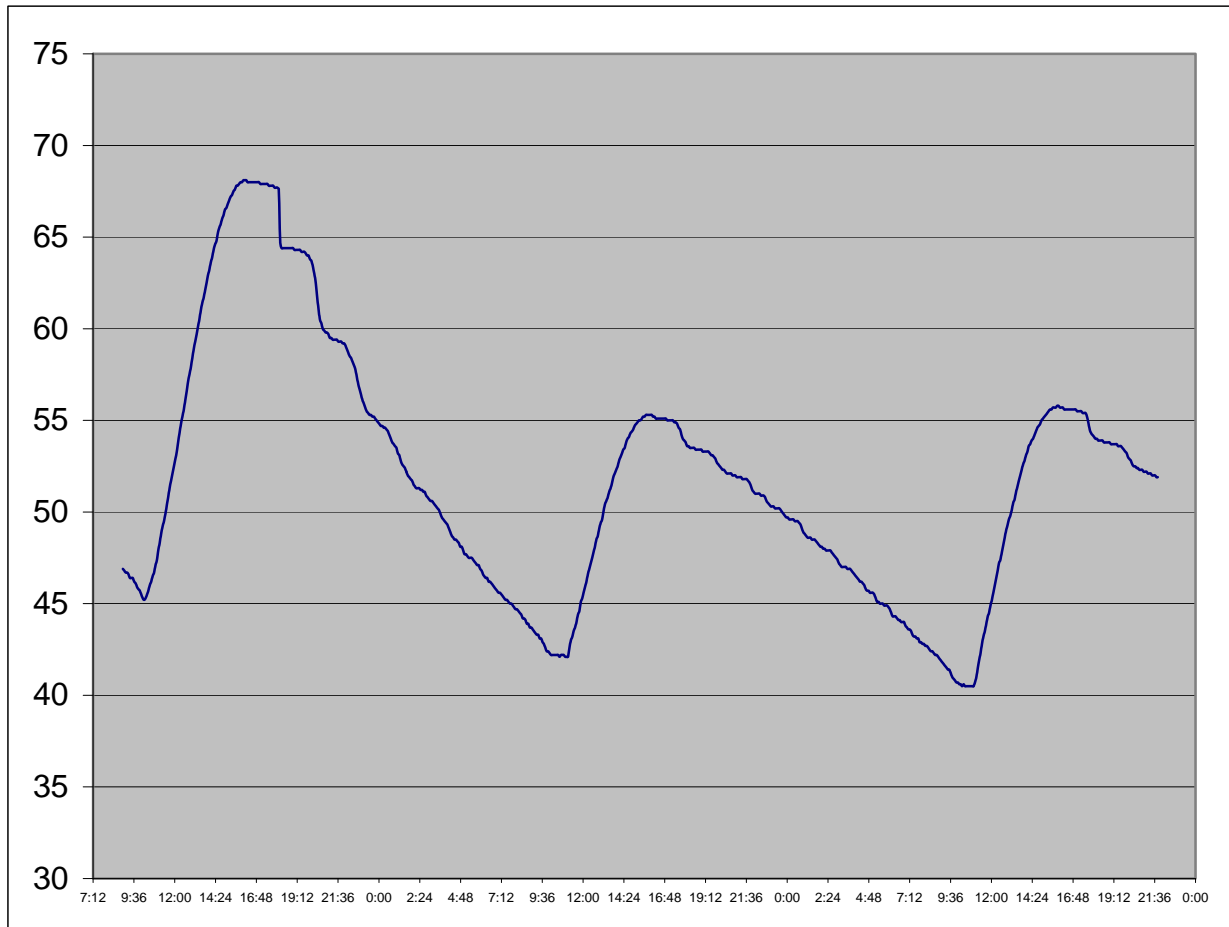
Temperatura a altura media en los dormitorios de la vivienda experimental (marrón) y patrón (rojo).

En la gráfica de temperaturas del día 13 de noviembre vemos reflejado claramente este hecho y el comportamiento en cuanto a confort similar de ambas viviendas comparando las sondas de temperatura a una altura media en los dormitorios principales.

Ahora nos vamos a ceñir a las gráficas de energía y consumo eléctrico de las dos instalaciones en comparación, la instalación solar térmica y la bomba de calor. El periodo de estudio va a estar comprendido entre las 9:00 a.m. del día 12 de noviembre hasta las 21:00 p.m. del día 14 de noviembre, lo que representa 2,5 días de ensayo.



A simple vista lo que vemos es cómo cuando mayor producción de energía térmica y también consumo de energía eléctrica se produce por parte de la bomba de calor es durante las horas de no Sol. Sin embargo en la instalación solar térmica se produce el fenómeno contrario, ya que es durante las horas de Sol cuando el campo de captadores está funcionando plenamente para calentar el depósito que actúa como almacenador de ese calor para después trasladarlo a la vivienda.



Este gráfico refleja claramente este hecho. Se observa cómo durante las horas de Sol y durante las horas en que los captadores están aumentando la temperatura del fluido primario, se está calentando el agua del acumulador, del cual se manda a las unidades terminales a la temperatura óptima de trabajo. Cuando los captadores dejan de producir energía térmica, vemos cómo la temperatura del acumulador comienza a decrecer (ya que no hay nada que lo esté calentando) para poder abastecer la demanda de agua caliente de los fan-coils, y así, hasta el día siguiente en que comienza de nuevo el ciclo de calentamiento de esta agua a través de la batería de captadores.

Sería muy apropiado comprobar hasta cuándo el depósito podría satisfacer una demanda continuada de calefacción en una vivienda. Desde luego, para una unidad terminal de baja temperatura donde la temperatura de entrada es más baja, este periodo será mayor.

Dicho esto y volviendo a las gráficas de energía de ambas instalaciones podemos extraer los siguientes datos:

Con respecto a la Bomba de calor, se puede observar que gracias al depósito de inercia de la instalación de bomba de calor, la máquina no tiene un funcionamiento continuo. Durante las horas de Sol y más calor, la bomba de calor consume una energía fluctuante con picos en 1.500 W aproximadamente. Este consumo eleva sus picos hasta 2.500 W a partir de la tarde, ya que la temperatura del depósito baja con mayor rapidez a raíz de la demanda de agua caliente por parte de los fan-coils para mantener la temperatura de consigna (24°C) en el interior de la vivienda Patrón.



La energía térmica entregada por la bomba de calor durante el periodo de ensayo fue de 164,35 kWh. La energía eléctrica consumida fue de 97,094 kWh. El COP durante este periodo es de 1,69.

Comentar que observando el gráfico podemos detectar que hay periodos en los que no sería necesaria la utilización de la bomba de calor ya que la energía que entrega no justifica la energía eléctrica consumida que incluso es mayor. Esto se produce durante las horas de Sol y más calor exterior, donde gracias al aislamiento de la vivienda el calor se mantiene perfectamente en su interior. La bomba no necesita generar energía térmica y como el depósito está caliente se produce una recirculación del agua con el consiguiente consumo eléctrico (que como señalábamos supera incluso a la producción térmica). Para esto sirven los sistemas de control, para poder controlar la puesta en marcha o parada de las instalaciones en función de las condiciones interiores de la vivienda.

Por otro lado, durante este periodo, la instalación solar térmica ha producido 255,55 kWh. La energía eléctrica consumida por el sistema térmica global ha sido de 51,150 kWh. El COP durante este periodo fue de 4,99.

Es importante destacar el consumo de eléctrico de todos los equipos auxiliares del sistema: bombeo, sistema eléctrico de los equipos auxiliares, tienen un consumo que es más o menos estable, tanto en stand-by como en marcha.



Primeras conclusiones del ensayo de calefacción con Energía Solar Térmica

Después de analizar los resultados podemos concluir que:

- La calefacción mediante energía solar térmica es una muy buena alternativa como sistema de apoyo para sistemas convencionales debido a los rendimientos y la energía gratuita que nos entrega. A día de hoy su utilización como sistema de calefacción único es inviable desde un punto de vista económico y técnico debido a que para una vivienda de 100 m² necesitaríamos en torno a 18 colectores solares térmicos con depósitos de acumulación de gran volumen. Por espacio es desaconsejable y la inversión estaría entre 20.000 € y 27.000 €, con un periodo de retorno muy elevado.
- A la vista de los resultados, si pudiéramos una instalación solar térmica en lugar de una instalación por bomba de calor convencional, para una misma demanda térmica, conseguiríamos un ahorro de 0,43 €/kWh eléctrico (COP solar = 4.99 - COP BdC = 1,69 → 3,3 x 0,130485 €/kWh eléctrico). Esto implicaría un ahorro en torno a **7,33 €/día** (teniendo en cuenta que la energía eléctrica consumida por la instalación solar térmica fue de 51,15 kWh en 3 días → 17,05 kWh eléctrico/día).
- Sería muy apropiado comprobar cuánto tiempo el depósito de 3.000 l podría satisfacer una demanda continuada de calefacción en una vivienda. Teniendo en cuenta que es el depósito nuestra fuente de agua caliente y la que nos la disponibiliza para la hora de utilización de la misma. Desde luego, para una unidad terminal de baja temperatura, donde la temperatura de entrada es más baja, este periodo será mayor.
- Durante el periodo de tiempo de estudio, la vivienda patrón para mantener su temperatura interior de confort, ha demandado 164,35 kWh térmicos, para lo que ha necesitado un consumo de 97,09 kWh eléctricos. La instalación solar térmica ha producido 255,55 kWh (un 55% superior a la necesidad de las viviendas) y para ello ha precisado un consumo eléctrico de 51,150 kWh. Para una misma demanda térmica se hubieran precisado teniendo en cuenta su COP medio unos 33 kWh eléctricos (lo que supone un 34% del consumo de la bomba de calor, y por tanto, un **ahorro de un 66% eléctrico**).
- La estratificación de la temperatura fue óptima cuando empleamos losa térmica como unidad terminal, sin embargo, debemos recordar los costes de instalación y la lenta respuesta de este sistema.