

INTEGRACIÓN EFECTIVA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO ESTACIONAL EN EDIFICIOS EXISTENTES

URRA MARDARAZ, Iñigo⁽¹⁾; MARTINEZ URRUTIA, Asier⁽¹⁾

PASCUAL ORTIZ, Carol⁽¹⁾

inigo.urra@tecnalia.com

⁽¹⁾ Tecnalia, División Energía y Medio Ambiente

RESUMEN

El consumo energético de los edificios supone el 40% de la energía total consumida en Europa y la demanda térmica de los edificios supone hasta el 60-70% de la demanda de energía total. La instalación térmica resulta por tanto clave para la reducción de energía primaria en edificación, se trata sin duda de uno de los sectores con mayor potencial para la reducción del consumo de energía primaria. El proyecto Europeo EINSTEIN se lleva a cabo para reducir el consumo de energía primaria de calefacción y ACS de edificios, combinando la utilización de la **energía solar térmica** con las **bombas de calor** y los **Sistemas de Almacenamiento Térmico Estacional** (denominado habitualmente como STES, Seasonal Thermal Energy Storage).

El objetivo del proyecto EINSTEIN es el desarrollo, la evaluación y la demostración de un sistema de calefacción de bajo consumo energético, basado en el concepto STES en combinación con bombas de calor para cubrir la demanda de calefacción y ACS de los edificios existentes y de esta manera reducir drásticamente el consumo de energía (ahorro de energía primaria hasta de 70% si se compara con los sistemas térmicos convencionales existentes). El sistema que se plantea en el presente proyecto consiste en almacenar la energía solar térmica captada durante los meses de verano, para su uso posterior en los meses de invierno. Los Sistemas de Almacenamiento Térmico Estacional almacenan la energía solar cuando mayor es la disponibilidad y se retrasa su uso a meses de mayor necesidad. Uno de los objetivos más importantes del proyecto es el dimensionamiento y construcción de dos plantas piloto como demostradores del sistema desarrollado, una será construida en Polonia y otra en España. En este artículo se presentan las primeras conclusiones obtenidas de la puesta en marcha del demostrador instalado en España.

Palabras clave: Almacenamiento térmico, Almacenamiento estacional, SATE, solar térmica, bombas de calor.

1. Introducción

La demanda energética de los edificios supone, aproximadamente, el 40% del consume de energía total en la UE. Aunque la eficiencia energética en nueva edificación se presenta como un objetivo importante a la hora de reducir la dependencia energética de Europa, el objetivo principal son los edificios existentes [1]. Sin embargo, estos se caracterizan por requisitos y limitaciones particulares que no se encuentran presentes en nueva edificación y es por ello el requerimiento de nuevos desarrollos y adaptación de tecnologías existentes. Con el objetivo de cumplir las directivas más recientes de la UE, se requieren soluciones para una reducción drástica en el consumo de energía primaria. Debido a que los sistemas de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS) representan la mayor parte del consumo de energía en los edificios, la energía solar térmica se presenta como una fuente de energía prometedora.

El concepto de almacenamiento estacional de energía térmica es investigado en el norte de Europa desde mediados de los 70. Las primeras plantas de demostración fueron instaladas en Suecia durante los años 1978-1979. Además de Suecia, esta tecnología ha sido también investigada en Suiza, Dinamarca y Alemania. En Alemania, han sido construidas once grandes plantas solares con almacenamiento estacional desde 1996 [2]. Estas plantas están diseñadas para cubrir entre el 35 – 60% de la demanda de calefacción y ACS de la conexión de consumidores.

Los esfuerzos de investigación de los últimos años han sido enfocados, principalmente, al comportamiento e integración de cuatro tipos diferentes tipos de sistemas de almacenamiento [3]:

- Tanque de almacenamiento de energía térmica: Consiste en un tanque de hormigón pudiendo estar parcialmente enterrado.
- Almacenamiento PIT: piscina natural lleno de material de almacenamiento.
- Almacenamiento a través de sondeo geotérmico vertical: almacenamiento directo en el terreno.
- Almacenamiento en acuífero: empleo de aguas subterráneas para el almacenamiento de calor.

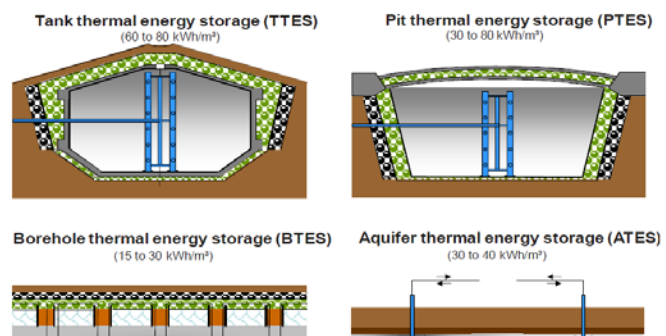


Figura 1: Diferentes Tipos de tecnologías de almacenamiento estacional empleados. Fuente: SOLITES.

El objetivo principal del Proyecto EINSTEIN (*Effective integration of seasonal thermal energy storage systems in existing buildings*) es el desarrollo, integración, evaluación y demostración de un sistema de calefacción de baja energía basado en el almacenamiento estacional de energía térmica en combinación con bombas de calor en edificación existente.

Este trabajo presenta los parámetros de diseño, integración y puesta en marcha del demostrador a escala de la tecnología descrita instalado en un centro de eventos situado en Bilbao.

2. Descripción instalación

La Papelera es una Antigua fábrica inmersa en pleno proceso de reconversión en un centro público destinado al arte y eventos, bajo la gestión actual del Ayuntamiento de Bilbao. La ubicación del demostrador tuvo en cuenta diferentes aspectos socio económicos y técnicos, como son, la disposición de los colectores solares y tanque de almacenamiento, además de ser un espacio público facilitando así la divulgación de esta tecnología.

El objetivo de la instalación es cubrir aproximadamente un 30% de la demanda de calor del espacio actualmente en rehabilitación. La tasa de ahorro final, dependerá en gran medida, de la intensidad del uso final de dichas instalaciones.

El edificio consta de dos edificios anexos, un edificio principal con un área de 30x23 m² y un segundo edificio de dimensiones medias 17,5x15 m². Estos edificios han sido equipados con un sistema de calefacción de baja temperatura y una instalación de suelo radiante cubriendo una superficie aproximada de 450 m². El aire de ventilación es acondicionado mediante una unidad de tratamiento externo (UTA).

Demanda de calefacción:

Como se ha comentado, los espacios principales son calefactados a través de un sistema de suelo radiante, integrando el sistema solar con almacenamiento estacional, bomba de calor y la caldera de gas natural existente en un solo sistema unificado.

La demanda de calefacción total estimada es de 83 MWh/año. A continuación, se muestran los principales parámetros empleados para la demanda de calor del local:

- Localización: Bilbao.
- Temperatura ambiente media: 14 °C [4].
- Radiación total incidente (horizontal): 1,272 kWh/m² [4].
- Horas de operación: 4150 horas.
- Carga máxima: 102 kW.
- Orientación y pendiente colectores: Sur, 45°.

Tabla 1: Estimación demanda calefacción anual.

	kWh / año	kWh/m ² año
Área de Eventos	71.000	88,5
Cafetería	11.970	47,0
Total	83.270	78,5

Dimensionamiento de la instalación:

Este tipo de instalaciones se ve afectado por la influencia de diferentes factores muy cambiantes como pueden ser la radiación solar o la demanda de calor. Esto imposibilita determinar el comportamiento del sistema mediante cálculos estacionarios por lo que se ha empleado un modelo dinámico de la instalación implementada en el software TRNSYS [5][6]. De acuerdo a las simulaciones realizadas se calculan los siguientes parámetros de diseño del sistema para la instalación en “La Papelera”:

Según los cálculos realizados, el **área de colectores** óptimo de diseño son 70 m², pero debido a la imposibilidad de instalar tal cantidad de colectores debido a restricciones de sitio se instalaron 62 m², un total de 27 colectores, totalmente orientados al sur y una inclinación de 45°. El circuito es alimentado por una solución agua-etilenglicol la cual permite operar entre -30 - +150°C.

Para el diseño del **tanque de almacenamiento** se ha empleado un tanque metálico doble, donde la cámara entre ellos es empleada para albergar el material aislante. El tanque interior consta de 6,5 m de columna de agua y un diámetro de 6 m (más 0,5 m del espacio donde se introduce el material aislante), lo que se traduce en un volumen de 180 m³ (177,86 m² de superficie externa total). Los sistemas de almacenamiento estacional necesitan de un aislamiento muy exigente para evitar el enfriamiento del agua durante un largo periodo de tiempo. El criterio empleado en esta instalación, concretamente fue, tener una pérdidas máximas de 5 K por mes (20W·K⁻¹). El material aislante seleccionado en este proyecto fue PUR (Poliuretano) granulado, el cual es muy ligero y no necesita de elementos separadores. Además este material granulado proviene del reciclado de otros desechos.

Finalmente, el tanque dispone de un dispositivo de estratificación compuesto por tres diferentes entradas del agua (0,6 m de la superficie libre y 4 y 1,3 m sobre el fondo del tanque) en función de la temperatura, mejorando tanto el almacenamiento como la captación de calor del sistema, asegurando un régimen no turbulento en el almacenamiento de agua caliente así como en el retorno de agua fría.

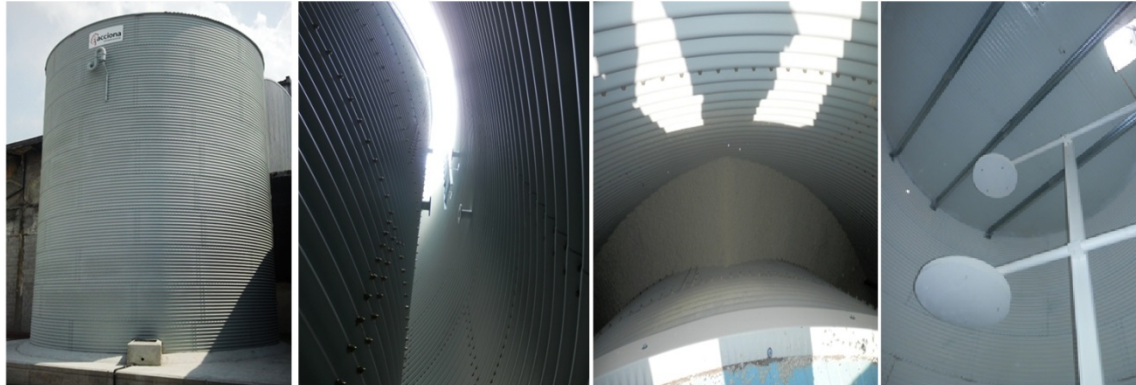


Figura 2: Tanque de almacenamiento estacional instalado en el demostrador.

a) Vista general tanque almacenamiento; b) y c) Detalle tanques concéntricos y llenado material aislante, PUR; d) Dispositivos estratificación.

La bomba de calor seleccionada para la instalación ha sido proporcionada por AIRLAN (parte del consorcio del proyecto EINSTEIN). La bomba WRL 200, que trabaja con R410-a puede operar entre 10-28°C y tiene una capacidad térmica total de 69 kW y un coeficiente de operación de 4,16.

El **sistema hidráulico** consta de un circuito solar primario empleando etilenglicol como fluido caloportador. El circuito primario transfiere el calor de los colectores al circuito solar secundario (agua), compuesto por el sistema de almacenamiento, la bomba de calor, tanque de inercia y caldera de gas natural. La siguiente imagen muestra el esquema de instalación.

Para el registro y análisis del funcionamiento del demostrador, se ha instalado un sistema de control el cual consta de los siguientes puntos de medida:

- Registro temperaturas: Se registra la temperatura del tanque en cinco alturas diferentes para analizar la estratificación de temperatura en él. Además se registra la temperatura del material aislante en siete puntos diferentes, así como en varios puntos de los circuitos primario y secundario. Estas sondas de temperatura son tipo Pt-100.
- Sondas de presión para medir el nivel del agua en el tanque.
- Contadores de energía térmica en los circuitos secundarios que permiten medir el flujo, temperatura y calor primario.
- Estación meteorológica para medir de radiación solar y la temperatura exterior.

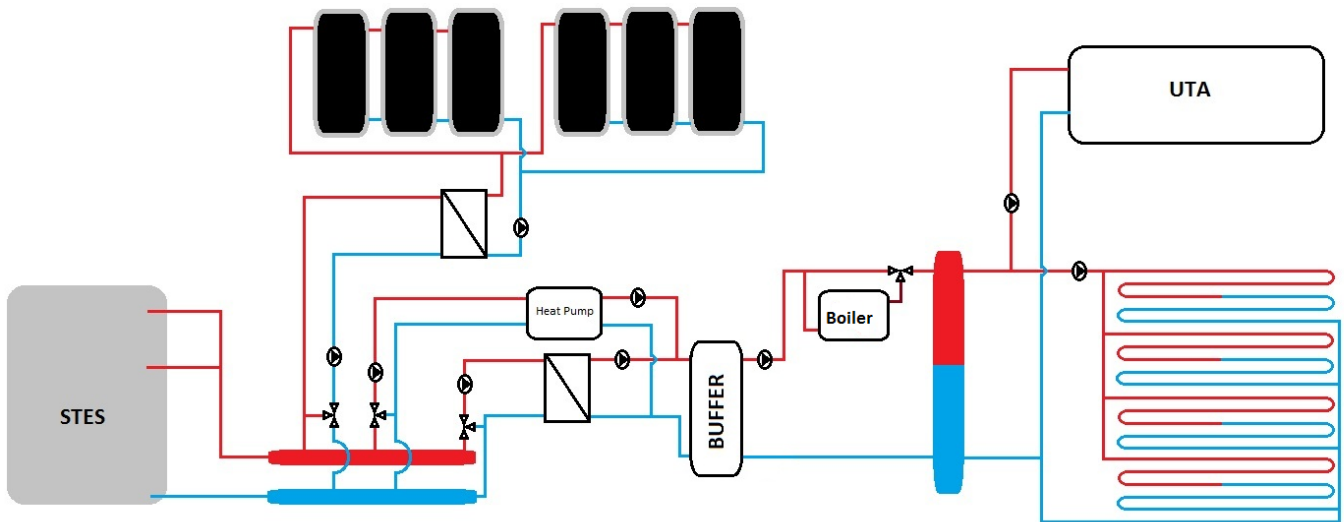


Figura 3: Esquema de la instalación.

Además se ha diseñado un programa Exo-Scada que permiten la recogida de datos, gestión de alarmas y generación de graficas e informes de los principales parámetros de la instalación: Temperaturas del tanque, energía almacenada y empleada...El sistema está vinculado a un servidor web disponible en todo momento en tiempo real, pudiendo así observar el funcionamiento y poder pequeños problemas por control remoto.

En resumen los parámetros de diseño del sistema son:

- Área colectores solares: 62 m².
- Volumen almacenamiento: 180 m³.
- Bomba de calor: 69 kW (térmicos).
- Buffer: 2.000 L.

En la figura siguiente se muestra la ubicación de los elementos que componen el sistema.

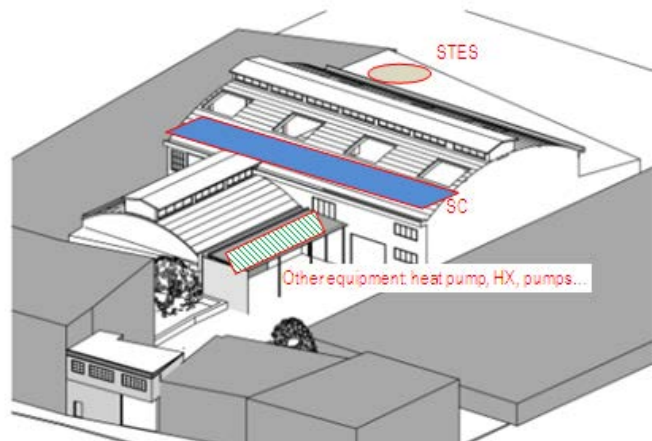


Figura 4: Edificio demostrador “La Papelera”.

Modos de operación del sistema:

El sistema trabajara en diferente modo de operación en función de la temperatura del agua de almacenamiento:

- Carga del sistema de almacenamiento: Cuando no haya demanda de calefacción (principalmente entre Mayo y Septiembre) pero hay aporte de energía solar por encima del valor umbral establecido, los colectores solares cargan el tanque, pudiendo alcanzar un máximo de 90°C.
- Descarga del Sistema de almacenamiento: Cuando se requiere calefacción y el agua almacenada tiene una temperatura mayor que 50°C (en el lado superior, pudiendo alcanzar una máximo de 90°C) el agua caliente se obtienen directamente del sistema de almacenamiento.
- Cuando hay demanda de calefacción pero el agua de almacenamiento se encuentra entre 10 – 50°C, este alimenta la bomba de calor, la cual abastece al sistema de suelo radiante.
- En el momento que el sistema se encuentra por debajo de los 10°C, la caldera de gas natural es la encargada de cubrir la demanda de calefacción.

3. Puesta a punto de la instalación

Los primeros pasos para la puesta en marcha de la instalación fueron llevados a cabo durante Julio del 2014. Fundamentalmente, el objetivo de estas pruebas era: detección de posibles fugas de agua, detección de aire en el circuito, comprobación de medición correcta de los sensores instalados así como la conexión del sistema remoto para controlar la instalación.

Una vez realizadas estas primeras comprobaciones, se procedió a comprobar el correcto funcionamiento de cada uno de los equipos (bomba de calor, sistema de bombeo de los circuitos primario y secundario, correcta actuación del sistema de control) y poder así realizar las primeras comprobaciones en modo de carga o almacenamiento de energía.

Pruebas de carga:

Las pruebas de carga comenzaron en Agosto cuando el agua del tanque se encontraba entre 12°C y 15°C y se prolongaron hasta comienzos de Noviembre del 2014 alcanzando una temperatura máxima de 66,7 °C en la parte superior del tanque y 61,2°C en la parte inferior (Figura 5). La temperatura de almacenamiento deseada se encuentra en torno a 85-90°C, esta temperatura es superior a la alcanzada en esta primera prueba, y se debe a que el periodo de carga debería haber comenzado con anterioridad, en Abril-Mayo. En la Figura 6 se muestra la evolución de la energía almacenada en el tanque de almacenamiento térmico estacional, donde se observa que Septiembre es el mes con mayor aporte energético 4,55MWh.

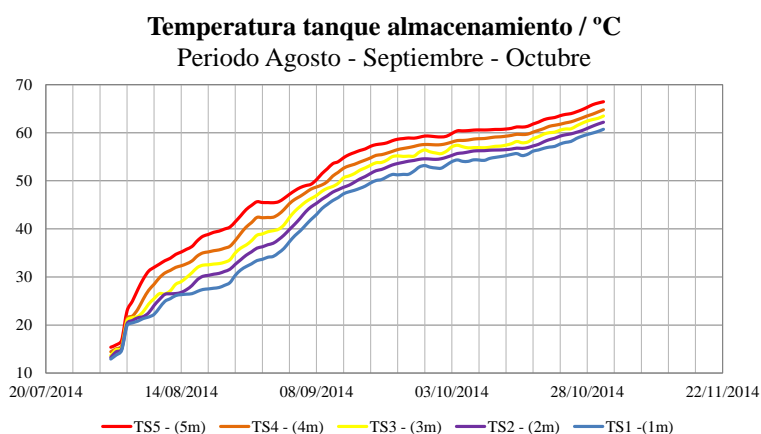


Figura 5: Evolución temperatura del tanque de almacenamiento estacional durante primeras pruebas de carga.

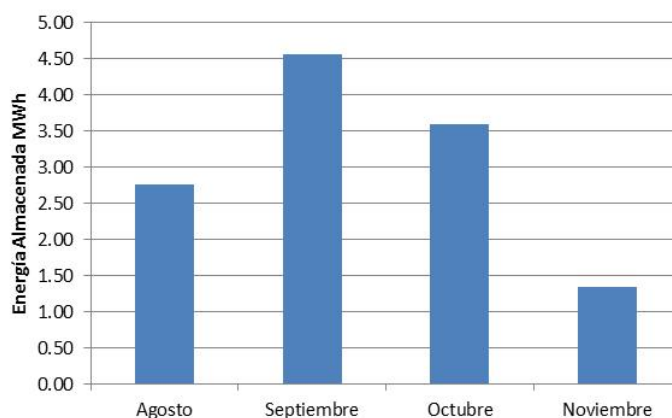


Figura 6: Evolución de la energía almacenada en el tanque de almacenamiento estacional durante primeras pruebas de carga.

Pruebas de descarga:

Durante el periodo de invierno desde diciembre 2014 a marzo 2015 se realizaron diversas pruebas de descarga para detectar posibles fugas y anomalías en el sistema. Una vez comprobado el buen funcionamiento del sistema se procedió a realizar un ensayo a máxima velocidad de descarga durante tres días para comprobar la evolución de la temperatura del suelo radiante así como la del tanque de almacenamiento.

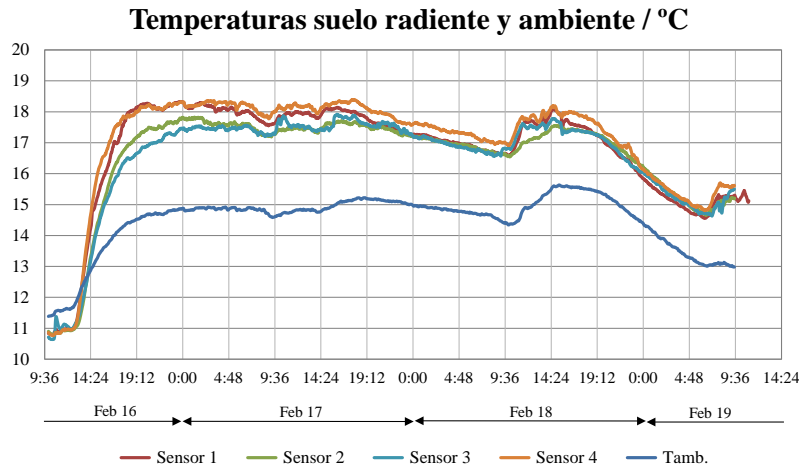


Figura 7: Evolución temperaturas suelo radiante y temperatura ambiente durante proceso de descarga.

En la Figura 7 se muestra como la temperatura del suelo radiante asciende de 11°C a 18°C grados manteniendo la temperatura ambiente de la sala en 15°C durante dos días y medio, a partir de este momento la temperatura del suelo radiante desciende debido a que la temperatura del tanque ha descendido considerablemente hasta alcanzar 30°C (ver Figura 5). Con el objetivo de ajustar valores nominales de funcionamiento correcto de la planta demostración, durante el ensayo realizado se realizaron diferentes pruebas de ajustes de caudales mediante control manual, empleando diferentes grados de apertura de las válvulas.

En la siguiente Figura 8 se muestra como al comienzo del ensayo la temperatura en la parte superior del tanque es de 55°C y 50°C en la parte inferior. A medida que el ensayo se lleva a cabo la temperatura va descendiendo hasta alcanzar 30°C

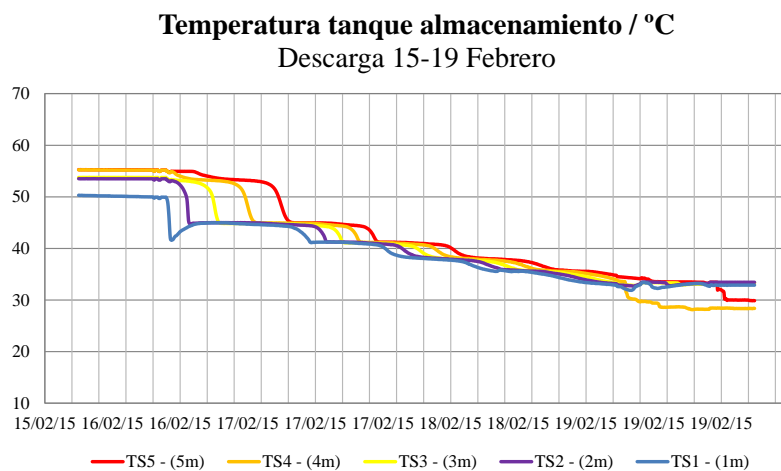


Figura 8: Evolución temperaturas tanque almacenamiento durante proceso de prueba de la descarga.

En la Figura 9 se muestra la temperatura del suelo radiante en dos instantes diferentes de la descarga mediante termografía. La imagen muestra como al comienzo del ensayo la temperatura del fluido caloportador (agua) del suelo radiante era de 15-18°C aproximadamente y a las dos horas la temperatura había subido hasta 28°C en la impulsión.

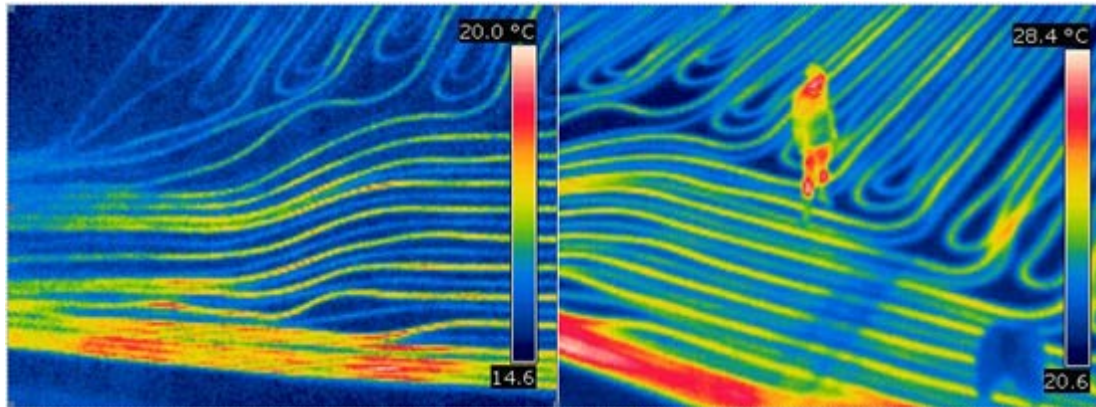


Figura 9: Detalle termográfico sistema calefacción por suelo radiante y evolución durante periodo de descarga del sistema de almacenamiento.

4. Conclusiones y consideraciones finales

El presente trabajo, muestra los primeros pasos realizados para la puesta en marcha de la instalación demostrador de una instalación solar térmica con almacenamiento estacional, dentro del proyecto EISNTEIN. Los ensayos realizados durante en el primer año se han llevado a cabo con el objetivo de poner la instalación a punto, realizar pequeñas modificaciones en caso fueran necesarias y optimizar la estrategia y valores consigna del control. De esta manera, se aprovechará al completo el periodo de carga durante 2015 y posteriormente se iniciará el periodo de descarga según la demanda del local cultural “La Papelera”, perteneciente al ayuntamiento de Bilbao, lo requiera.

De los ensayos realizados hasta la fecha se observa un buen funcionamiento del sistema (instalación solar, sistema calefacción suelo radiante, hidráulica del sistema y estrategia de control) y muy buen comportamiento térmico del tanque de almacenamiento estacional (pérdidas térmicas, sistema estratificación óptimo) debido a su diseño innovador para estos niveles de volumen, es decir, el uso de un tanque doble concéntrico y aislado mediante PUR granulado.

Actualmente, los trabajos se encuentran en proceso de ser finalizados mediante diferentes pruebas y análisis:

- Pruebas de descarga en combinación con la bomba de calor (15°C)
- Recogida, supervisión y análisis de datos del comportamiento del sistema trabajando de forma autónoma y,
- Análisis del comportamiento del tanque de almacenamiento y análisis de pérdidas de calor.

5. Agradecimientos

La investigación relacionada con los resultados y tareas descritas ha recibida financiación de la Comisión Europea dentro del 7º Programa Marco (PM / 2007 – 2013) en virtud del acuerdo de subvención ENER/FP7295983 (Einstein Project). Los autores agradecen este apoyo y asumen toda responsabilidad por el contenido de este documento.

6. Referencias

- [1] European Union Directive on the Energy Performance of Buildings. EPBD 2002/91/CE.
- [2] BPIE Europe's buildings under the microscope, 2011.
- [3] Mateo Guadalfajara, Miguel A. Lozano, Luis M. Serra. A simple method to calculate Central Solar Heating Plants with Seasonal Storage. SHC 2013, International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry, September 23-25, 2013, Freiburg, Germany.
- [4] Mangold, D., Schmidt, T. *The next generations of Seasonal Thermal Energy Storage in Germany*. Solites – Steinbeis Research Institute. ESTEC 2007, München, 2007.
- [5] Meteonorm: Irradiation data for every place on Earth. <http://meteonorm.com/>
- [6] Klein, S.A. et al, 2010, TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- [7] Pascual, C., Martinez, A., Epelde, E., Marx, R., Bauer, D. *Dynamic modeling of seasonal thermal energy storage systems in existing buildings*. The 55th Conference on Simulation and Modelling (SIMS 55). Aalborg, October 2008.