

Eficiencia energética: geotermia - suelo radiante. Caso de éxito monitorizado

1. Introducción

Las exigencias en cuanto a la limitación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero hacen necesario el desarrollo e implementación de tecnologías altamente eficientes que permitan el aprovechamiento de fuentes de energía renovable. En nuestro ámbito, dichos objetivos son establecidos por la Unión Europea a través de diferentes directivas. Entre ellas, cabe destacar la Directiva 2009/28/CE relativa al **fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables**^[1], la Directiva 2010/31/UE relativa a la **eficiencia energética de los edificios**^[2] y la Directiva 2012/27/UE, destinada a superar deficiencias del mercado que obstaculizan la **eficiencia en el abastecimiento y el consumo de energía**^[3]. Así, identificando el sector edificatorio como crucial para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero^[2], la Directiva 2012/27/UE insta a los Estados miembros a crear una estrategia a largo plazo destinada a movilizar inversiones en la renovación de edificios para mejorar el rendimiento energético.

En cuanto al reparto promedio de energía en el sector edificatorio, en general **los sistemas de climatización son los que llevan asociados un mayor consumo energético**, constituyéndose como uno de los principales objetivos en materia de implementación de mejoras de la eficiencia energética^[4 y 5].

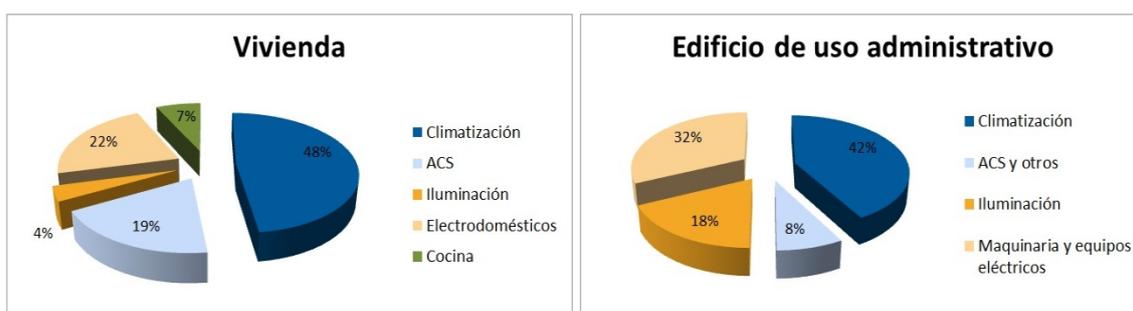


Figura 1. Reparto de consumos energéticos en función del tipo de edificio

Fuentes: "Análisis del consumo energético del sector residencial en España", IDAE (2011)

"Estudio sobre la eficiencia energética en los edificios de uso administrativo en Galicia", INEGA (2012)

2. Geotermia – Suelo radiante

Los sistemas geotérmicos de baja temperatura constan de un intercambiador de calor subterráneo que a través de un fluido que circula en su interior extrae calor del subsuelo o introduce calor de la edificación en el terreno, una bomba de calor que transfiere el calor entre el intercambiador y el sistema de distribución a baja temperatura del edificio.



Figura 2. Aprovechamiento geotérmico con intercambiador vertical, BCGT y suelo radiante

Los aprovechamientos geotérmicos de muy baja temperatura se basan en que, en cualquier lugar del planeta, el subsuelo tiene una temperatura más constante que el aire exterior. A partir de los primeros 15 metros de profundidad, la temperatura del terreno no varía en función de las condiciones climáticas.

En un sistema de bomba de calor geotérmica (BCGT) se absorbe el calor natural del suelo a través del fluido que circula por el interior de las sondas de polietileno y es aprovechado para producir temperaturas de impulsión de 50°C en calefacción o, invirtiendo el ciclo, 7°C en refrigeración.

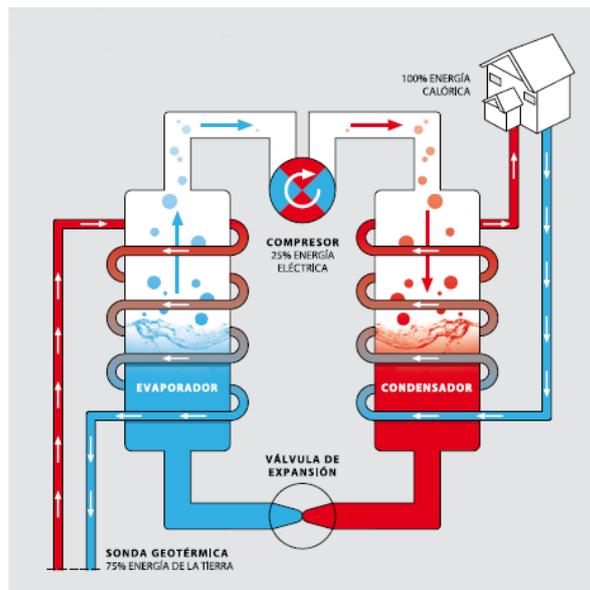


Figura 3. Esquema de funcionamiento de una bomba de calor

Los ahorros en las instalaciones con BCGT se generan por el menor consumo de electricidad, por los escasos costes de mantenimiento y por la mayor duración de la vida útil que otros sistemas.

Los sistemas de suelo radiante se presentan como óptimos para complementar el aprovechamiento geotérmico mediante BCGT, ya que son sistemas de calefacción basados en circuitos de tuberías plásticas, normalmente de polietileno reticulado o multicapa, empotradas en el mortero situado bajo el pavimento, por las que circula agua en torno a 40°C, transmitiendo, básicamente por radiación, el calor al ambiente. También se puede utilizar la instalación para aporte de frío. En las instalaciones de suelo radiante se consigue un mayor confort debido al reparto uniforme de la temperatura y a su estratificación, proporciona aislamiento termoacústico, mejora la estética y contribuye al ahorro energético.



Figura 4. Suelo radiante

3. Aprovechamientos renovables con Bomba de Calor Geotérmica (BCG)

De acuerdo con la Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, **los aprovechamientos geotérmicos para bomba de calor serán considerados como aprovechamientos de energía procedente de fuentes renovables** “siempre que la producción final de energía supere de forma significativa el insumo de energía primaria necesaria para impulsar la bomba de calor”^[1].

En su Anexo VII, esta directiva detalla la metodología de cálculo de la cantidad de calor que se ha de considerar como energía procedente de fuentes renovables en usos con equipos de bomba de calor. En este Anexo, se establece que “la cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables”, deberá calcularse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$E_{res} = Q_{usable} \times (1 - 1/SPF)$$

Siendo:

- E_{res} : cantidad de energía procedente de fuentes renovables.
- Q_{usable} : calor útil total proporcionado por la bomba de calor.
- SPF : coeficiente de prestaciones medio estacional proporcionado por la bomba de calor.

Como aspecto clave a tener en cuenta, sólo se considerarán aquellas bombas de calor para las que el $SPF > 1,15 \cdot (1/\eta)$; siendo η el valor de la eficiencia del sistema de energía, es decir, el cociente entre la producción total bruta de electricidad y el consumo primario de energía para la producción de electricidad, cuyo valor se ha fijado en 0,455 (45,5%).

Así, para las bombas de calor accionadas eléctricamente, solo aquellos equipos que, en las condiciones de operación que correspondan, permitan obtener el siguiente coeficiente de prestaciones medio estacional (SPF), podrán ser considerados como un aprovechamiento para bomba de calor procedente de fuentes de energía renovables:

$$SPF > 1,15 \cdot (1/\eta) > 1,15 \cdot (1/0,455) > 2,5$$

En las bombas de calor accionadas mediante energía térmica (bien directamente, o bien mediante la combustión de combustibles), la eficiencia del sistema de energía (η) se considera igual a 1. Así, el SPF mínimo de las bombas de calor accionadas térmicamente para que estas puedan considerarse como un aprovechamiento de energía renovable, es de 1,15.

En la Decisión de la Comisión 2013/114/UE, de 1 de marzo de 2013, se establecen las directrices para el cálculo por parte de los Estados Miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor, indicando cómo deben estimar los Estados Miembros los parámetros Q_{usable} y el factor de rendimiento estacional (SPF), teniendo en cuenta las diferencias de las condiciones climáticas existentes^[6].

Recientemente, en febrero del presente año 2014, el Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España a través del Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE), publica el documento reconocido “**Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para la producción de calor en edificios**” al objeto de establecer una metodología sencilla y de mínimos para la identificación de aquellas bombas de calor accionadas eléctricamente que puedan ser consideradas como bombas de calor renovables^[7].

4. Caso práctico de instalación geotérmica y suelo radiante en escuela infantil

Como ejemplo de renovación de un sistema de generación térmico ineficiente y altamente contaminante por otro altamente eficiente y que permite aprovechar un recurso renovable de energía como es la energía geotérmica, se presentan a lo largo de los siguientes apartados los **resultados obtenidos en una escuela infantil que dispone de un sistema de generación térmico basado en una bomba de calor geotérmica (BCG) y en un sistema de distribución de calor por suelo radiante.**

Esta instalación forma parte de un proyecto demostrativo promovido por la Consellería de Economía e Industria de la Xunta de Galicia y el Centro Tecnológico EnergyLab, con el objetivo de evaluar el potencial existente para aprovechamientos geotérmicos de muy baja

temperatura en la Comunidad Autónoma de Galicia y de analizar las prestaciones de dicha tecnología en edificios públicos representativos.

El proyecto global incluye la instalación y monitorización de sistemas de bomba de calor geotérmica en otros cuatro edificios públicos representativos ubicados en la comunidad gallega.



Figura 5. Escuela infantil objeto del estudio

En este caso, el edificio consiste en una escuela infantil ubicada en el municipio de Baiona (Pontevedra) con demanda de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS), con un único nivel de altura en el que se ubican las distintas aulas, aseos, despachos, cocina y sala de máquinas; **siendo por suelo radiante el sistema de distribución de calor para los 800 m² de superficie a calefactar del edificio, diseñado para operar con temperaturas de impulsión de 38°C.** Además, la ocupación consta de 10 trabajadores y unos 85 niños.

En cuanto al sistema generador térmico sustituido, este consistía en una caldera de gasóleo C (con acumulador de ACS incluido en la propia caldera) de una potencia térmica de 90 kW, para cubrir las demandas existentes de calefacción y ACS.

Para la ejecución de la sustitución de la instalación térmica existente, llevada a cabo por las empresas Magaral Ingeniería, Ingeo y Solargal, **se propone como solución un sistema de BCG de potencia térmica 52 kW y un único depósito de inercia de 1.500 l de capacidad** que permite su aprovechamiento como inercia para el sistema de calefacción y como primario de un sistema de producción instantáneo de ACS, mediante un intercambiador de calor de placas externo que permite una producción de 50 l/min de ACS. Con el objetivo de mantener una elevada eficiencia del sistema también durante la producción de ACS, la bomba de calor geotérmica propuesta incorpora un recuperador de calor a la salida del compresor que, junto con la adecuada gestión y control del sistema, permite la producción de ACS a una temperatura del orden de los 55°C con elevados coeficientes de prestaciones (COP).

Para el dimensionado del captador geotérmico, se lleva a cabo un test de respuesta térmica (TRT) para determinar, entre otros parámetros, la conductividad térmica del subsuelo, detectándose una importante presencia de agua subterránea con un nivel freático situado a unos 12 m y, tras la correspondiente cubierta vegetal, una predominancia de subsuelo con estructura granítica.

Los datos obtenidos del TRT junto con las demandas térmicas previstas del edificio, permitieron obtener, mediante el empleo de los correspondientes programas informáticos de simulación numérica, **el dimensionado y geometría del campo de captación geotérmico**.

Este, consiste en **5 pozos de captación de 120 m de profundidad y 140 mm de diámetro cada uno**. En cada pozo, se introdujo un **intercambiador geotérmico de PE100 PN16 en doble U de 32 mm de diámetro**, siendo rellenados convenientemente mediante la inyección de un cemento bentonítico. Cada tramo de intercambiador geotérmico está conectado en circuito cerrado, mediante tramos de tubería horizontal enterrados a 1 m de profundidad aproximadamente, a un colector ubicado en una arqueta exterior y próxima a la sala de máquinas. El fluido caloportador geotérmico está constituido por una mezcla de agua y propilenglicol al 20%.



Figura 6. Colectores de ida y retorno del intercambiador geotérmico

El sistema de monitorización y adquisición de datos para el análisis del comportamiento y prestaciones de la instalación está compuesto por contadores térmicos (en el circuito geotérmico, en el circuito de calefacción y en el circuito de ACS), contadores eléctricos (uno que contabiliza el consumo del compresor de la BCG y otro que contabiliza el consumo de la bomba de circulación del circuito de captación geotérmico) y sondas de temperatura (exterior, interior y de ACS).

Todos estos **componentes de medición están conectados a un sistema de adquisición y transmisión de datos que permite el envío de las medidas registradas en la instalación a un servidor central**, ubicado en las oficinas de EnergyLab, en el cual se almacenan dichos datos y se obtienen, a partir de un software específicamente diseñado para este proyecto, los indicadores técnicos, económicos y medioambientales necesarios para el seguimiento y análisis de la instalación.

La puesta en marcha de esta instalación y del sistema de monitorización tuvo lugar en el mes de diciembre de 2009.

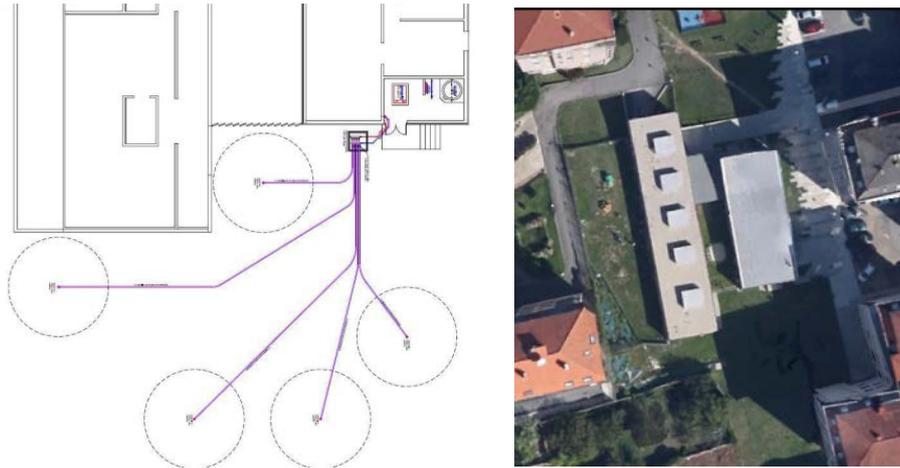


Figura 7. Ubicación del campo de captación geotérmico. Fuente: Magaral Ingeniería

5. Resultados de monitorización de instalación geotermia-suelo radiante escuela infantil

Tras la recogida y tratamiento de datos obtenidos de la monitorización de la instalación objeto de estudio, a continuación se exponen los principales indicadores registrados entre los años 2010 y 2013. En lo referente a las horas de funcionamiento totales del sistema geotérmico, se ha obtenido un promedio anual a lo largo de los años considerados de 1.346 horas. En cuanto a la demanda energética anual, esta se reparte en un 64% para calefacción y en un 36% para producción de ACS.

En la Tabla 1, puede apreciarse el buen nivel de resultados en cuanto a los SPF anuales de la instalación se refiere, gracias a la perfecta combinación de un correcto dimensionado e implantación del sistema de BCG, al aprovechamiento de un recurso energético renovable, como es la energía geotérmica, y a su funcionamiento frente a un sistema de distribución de calor a baja temperatura, el cual permite la operativa del equipo de bomba de calor en unos niveles óptimos de prestaciones.

Indicador	unidades	AÑO 2010	AÑO 2011	AÑO 2012	AÑO 2013
SPF ₁	-	4,10	4,28	4,45	4,47
SPF ₂	-	3,93	4,09	4,24	4,25
Consumo eléctrico ₁	kWh	16.498	13.885	20.473	18.862
Consumo eléctrico ₂	kWh	17.040	14.591	21.475	19.848
Coste eléctrico ₁	€	1.814	1.944	2.866	2.829
Coste eléctrico ₂	€	1.874	2.042	3.006	2.977

Tabla 1: Indicadores anuales correspondientes a los años 2010, 2011, 2012 y 2013 de la instalación objeto de estudio. Aclaración: subíndice 1, es considerando únicamente el consumo del compresor de la BCG; subíndice 2, es considerando el consumo del compresor de la BCG y el consumo de la bomba circuladora del fluido caloportador geotérmico. Fuente: EnergyLab

Los resultados anteriores se traducen, respecto a un sistema de caldera de gasóleo C como el que existía anteriormente a la implantación del sistema de BCG, en un promedio de ahorros económicos en términos de costes de operación, de unos 4.620 €/año y en un promedio de ahorros de emisiones de CO₂, de unas 20,7 tCO₂/año.



Figura 8. Evolución del COP estacional semanal a lo largo del año 2010 en la instalación objeto de estudio.

Aclaración: COP_{est1}, es considerando únicamente el consumo del compresor de la BCG; COP_{est2}, es considerando el consumo del compresor de la BCG y el consumo de la bomba circuladora del fluido caloportador geotérmico.

Fuente: EnergyLab

En términos de los parámetros de operación del intercambiador geotérmico, en la Figura 9 se muestra un día representativo de la operativa del sistema de BCG para satisfacer las demandas de calefacción y ACS de la escuela objeto de estudio. En ella, puede apreciarse la potencia térmica intercambiada entre el fluido caloportador geotérmico y el subsuelo a través del intercambiador geotérmico enterrado, así como las temperaturas de entrada a la BCG (ida) y de retorno al subsuelo (retorno) de dicho fluido.

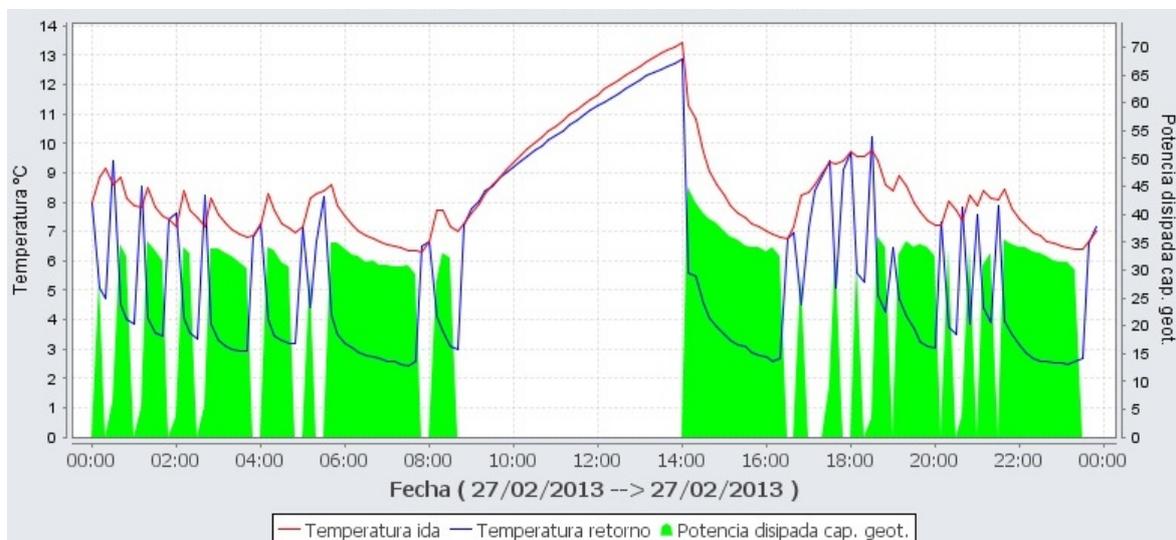


Figura 9. Comportamiento del circuito de captación geotérmico de la instalación objeto de estudio (temperaturas de fluido caloportador y potencia térmica intercambiada con el subsuelo) en el día 27/02/2013, atendiendo a las demandas de calefacción y ACS de la instalación (Fuente: EnergyLab)

En la Figura 10, en la que se representa la potencia térmica entregada al sistema de calefacción, la temperatura ambiente interior y la temperatura ambiente exterior registradas en el primer trimestre de 2013, se aprecia cómo el sistema de BCG es capaz de satisfacer las demandas de calefacción existentes, a través del sistema de suelo radiante, y cómo, independientemente de la temperatura exterior, la temperatura ambiente interior se mantiene en el intervalo de entre los 21°C y los 24°C. Esta consecución de los parámetros de confort, se hace especialmente crítica en una instalación de este tipo, como es una escuela infantil.

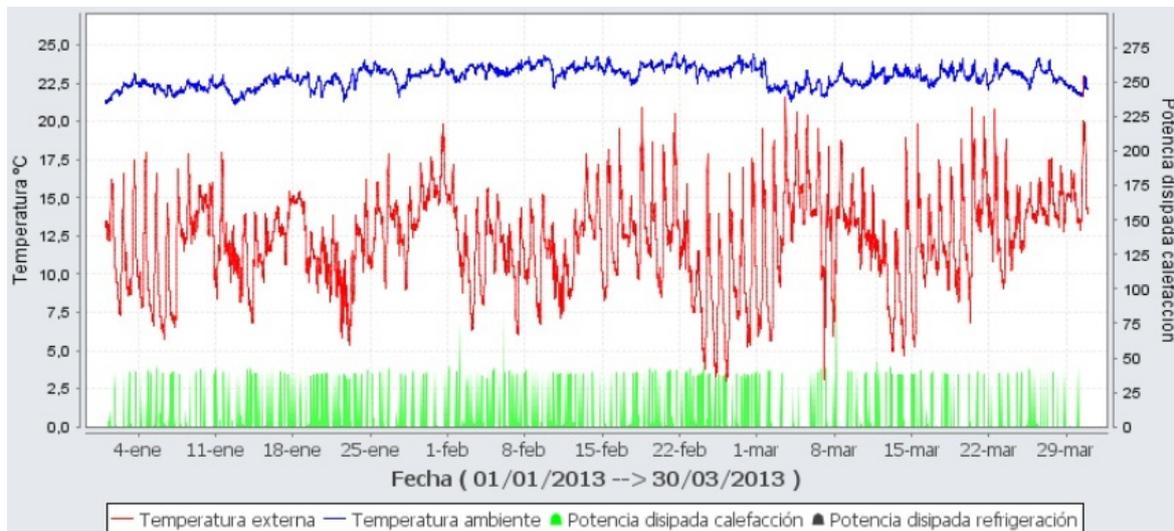


Figura 10. Evolución de los parámetros ambientales (temperatura interior y temperatura exterior) y de la potencia térmica entregada al sistema de calefacción radiante, a lo largo del primer trimestre de 2013 (Fuente: EnergyLab)

6. Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos para el período comprendido entre los años 2010 y 2013, a partir de los datos registrados por el sistema de adquisición y tratamiento de datos implantado en la instalación objeto de estudio, se puede concluir que, gracias a la sustitución del sistema generador térmico anterior (caldera de gasóleo C) por un sistema de BCG (Bomba de Calor Geotérmica):

- se han obtenido unos ahorros promedio en la factura energética de calefacción y producción de ACS superiores al 60%.
- se han obtenido unos ahorros promedio de emisiones de CO₂ superiores al 80%.

Por otra parte, se puede concluir que, a la vista de las correctas temperaturas de trabajo del sistema y de los intercambios térmicos correspondientes, el sistema de BCG está correctamente dimensionado e implantado. Respecto al carácter renovable de esta instalación de bomba de calor que aprovecha el recurso geotérmico disponible en el subsuelo, este se confirma al obtenerse valores de SPF anuales superiores a 2,5.

Así pues, se confirma la satisfacción de las demandas térmicas de la instalación con bajos costes de operación y obteniendo los niveles de confort requeridos, lo cual a su vez redundará en la satisfacción de propietarios y usuarios. Esto, junto con los datos y resultados presentados, da buena muestra de las importantes prestaciones que la tecnología de BCG ofrece y de los elevados ahorros energéticos, económicos y de emisiones contaminantes que puede llegar a suponer su implementación en combinación con sistemas de calefacción basados en superficies radiantes.

Bomba de calor geotérmica + superficie radiante



Reducción de costes de operación y menores emisiones de CO₂

Combinación eficiente y sostenible

Autores

Juan I. Rodríguez	Responsable del Área de Edificación de Energylab
AseTUB	Grupo Eficiencia Energética en Edificación

Referencias

- | | |
|--|--|
| [1] Directiva 2009/28/UE | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. |
| [2] Directiva 2010/31/UE | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. |
| [3] Directiva 2012/27/UE | Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética. |
| [4] IDAE (2011) | Análisis del consumo energético del sector residencial en España. Informe Final. |
| [5] INEGA (2012) | Estudio sobre la eficiencia energética en los edificios de uso administrativo en Galicia. |
| [6] 2013/114/UE | Decisión de la Comisión, de 1 de marzo de 2013, por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías. |
| [7] IDAE (2014) | Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios. |
| UNE 100715-1 | Diseño, ejecución y seguimiento de una instalación geotérmica somera. Parte 1: Sistemas de circuito cerrado vertical. |