

ACUMULACION ESTACIONAL DE LA ENERGIA SOLAR EN COMBINACION CON SISTEMAS DE ALTA EFICIENCIA. LA GEOTERMIA ARTIFICIAL

Gustavo Álvarez Pérez
Francisco Sánchez Sáinz
GEASYT, S.A.

Abstract

Using solar energy to heat water is commonly used in the building industry and has countless benefits. Obtaining usable energy from an endless source such as the sun lowers the use of limited resources and provides a renewable energetic alternative.

Southern European countries have plenty of time during which the solar energy collection is very high, which can be used as a source of domestic hot water, it can not be used as a source of heating.

This study presents the option of storing heat energy, using storage systems, in order to be used efficiently on demand, either through low temperature systems and/or high energetic efficiency systems.

The aim of this study is to present the technical issues involved in generation, storage and transformation of solar energy; analyzing spatial requirements and expected energy savings, as well as studying the costs and expected savings considering the current prices in Spain.

Keywords: *energy; HVAC; storage; solar; renewable, seasonal storage.*

Resumen

La producción de agua caliente por medio de energía solar, es una técnica ampliamente desarrollada en la edificación, de indudables beneficios para la sociedad. Obtener energía utilizable, de una fuente inagotable como es el sol, evita en gran manera el despilfarro de otros sistemas energéticos escasos y con usos alternativos para los que son insustituibles.

Los países del sur de Europa, disponen de gran cantidad de horas durante las que la captación de energía solar es muy elevada, que si bien puede ser utilizada durante todo el año como sistema energético para el calentamiento de ACS, no lo es para el consumo de Calefacción.

Estudiamos en la presente ponencia la posibilidad de reconducir la producción de esta energía calorífica a lo largo de todo el año, mediante sistemas de acumulación, a los momentos de demanda través de sistemas de baja temperatura y/o bien de alta eficiencia energética.

Como objeto de esta ponencia es el explicar los sistemas técnicos de generación-acumulación-transformación del calor solar, analizar sus requerimientos de espacios,

analizar los ahorros energéticos producidos, realizar un estudio de costes de implantación y ahorros económicos dentro de la óptica de precios actualmente en España.

Palabras clave: energía; climatización; acumulación; solar; renovable, almacenamiento estacional

1. Introducción

La adaptación de la producción en el tiempo con la demanda es el gran problema que normalmente coexiste con las energías alternativas.

Centrándonos en España como objeto de este estudio, disponemos de diversas zonas en función del nivel de insolación recibida a lo largo del año.

Podemos hablar desde zonas con un nivel de insolación de 1500 horas año, en la parte del noroeste de la península a zonas que superan las 2800 de horas de soleamiento al año, caso de la zona sur. Pero la mayor parte de la península esta en un rango de 2400 a 2600 horas año.

Como podemos apreciar en la figura 1, grafico del Instituto Nacional de Meteorología, la mayoría de la península esta en altos niveles de insolación.

En el caso concreto de la ciudad de Madrid, ciudad que tomaremos como prototipo para el desarrollo de la ponencia, los datos geográficos y climatológicos medios son los que aparecen en la figura 2.

Figura 1: Mapa de insolación en España

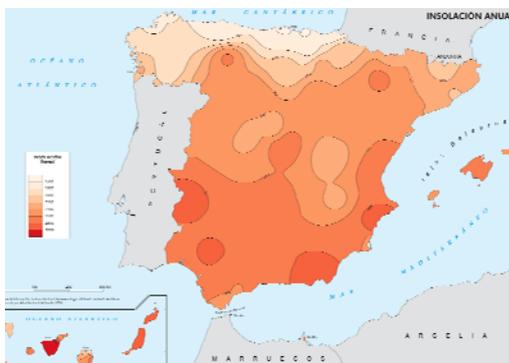


Figura 2: Datos climatológicos de Madrid

GOBIERNO DE ESPAÑA
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y TURISMO
Aemet
Agencia Estatal de Meteorología

Inicio > El clima > Datos climatológicos > Valores normales

Valores Climatológicos Normales. Madrid

Periodo: 1971-2000 - Altitud (m): 667 - Latitud: 40° 24' 40" N - Longitud: 03° 40' 41" O

Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Enero	6.1	9.7	2.6	37	71	6	1	0	5	6	8	148
Febrero	7.9	12.0	3.7	35	65	6	1	0	4	3	6	157
Marzo	10.7	15.7	5.6	26	54	5	0	1	2	1	7	214
Abril	12.3	17.5	7.2	47	55	7	0	1	1	0	5	231
Mayo	16.1	21.4	10.7	52	54	8	0	3	0	0	4	272
Junio	21.0	26.9	15.1	25	46	4	0	3	0	0	8	310
Julio	24.8	31.2	18.4	15	39	2	0	3	0	0	16	359
Agosto	24.4	30.7	18.2	10	41	2	0	2	0	0	14	335
Septiembre	20.5	26.0	15.0	28	50	3	0	2	0	0	9	261
Octubre	14.6	19.0	10.2	49	64	6	0	1	1	0	6	198
Noviembre	9.7	13.4	6.0	56	70	6	0	0	5	1	7	157
Diciembre	7.0	10.1	3.8	56	74	7	1	0	6	4	7	124
Año	14.6	19.4	9.7	436	57	63	4	16	24	16	97	2769

Leyenda

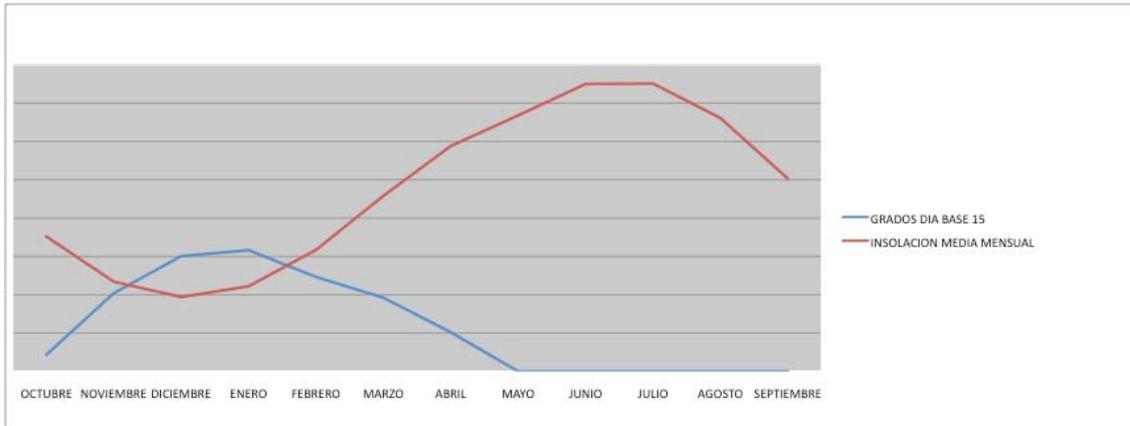
- T Temperatura media mensual/anual (°C)
- TM Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
- Tm Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
- R Precipitación mensual/anual media (mm)
- H Humedad relativa media (%)
- DR Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
- DN Número medio mensual/anual de días de nieve
- DT Número medio mensual/anual de días de tormenta
- DF Número medio mensual/anual de días de niebla
- DH Número medio mensual/anual de días de helada
- DD Número medio mensual/anual de días despejados
- I Número medio mensual/anual de horas de sol

Estas tablas son un extracto de la publicación denominada "Guía resumida del clima en España 1971-2000", que está a la venta en las diferentes Secciones de Atención a Usuarios de las Delegaciones Territoriales y en las oficinas de publicaciones de los Servicios Centrales de la AEMET y del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. El resto de los datos de éstas u otras estaciones, así como de cualquier otra variable se podrán obtener en las citadas oficinas (previa solicitud).

En la figura 3, gráfica de tendencia, queda reflejada para la ciudad de Madrid, la evolución de la insolación y los grados día en base 15, que representan las necesidades de calefacción para esta localidad geográfica. Claramente es apreciable que ambas

magnitudes están en desfase a lo largo del año. Por lo que es lógico pensar en sistemas de reconducción de esta curva de producción a la necesidad demandada a lo largo del año. Este el motivo de la acumulación estacional.

Figura 3: Insolación y demanda energética en Madrid



El sistema se compondrá de un campo de paneles solares, con una superficie de captación determinada, y colocados con una inclinación determinada, unidos al depósito de acumulación estacional, desde el que alimentaremos las instalaciones de consumo.

2. Rendimiento de los paneles solares

Se ha realizado una simulación horaria, que partiendo de los datos de radiación global y difusa horizontales, calcula la radiación global incidente sobre la superficie inclinada como suma de las radiaciones reflejada, difusa y la directa. Se ha utilizado el método de Liu-Jordan para la radiación difusa, y se ha considerado un albedo de 0,2 para evaluar la reflejada.

La energía solar captada para cada hora se ha obtenido como producto de la radiación global horaria total sobre el panel inclinado por el rendimiento del panel, que depende de la temperatura de entrada de agua, de la temperatura ambiente, de la potencia radiante incidente media, y de características propias del panel.

Para el cálculo del rendimiento energético de captación de los paneles solares, utilizamos el método español en el que se asimila el rendimiento de los mismos a una recta que evoluciona en función de la diferencia de temperatura entre el agua de entrada al panel y la temperatura ambiente, y el nivel de potencia de insolación, según la expresión

$$\text{Rend} = \eta_0 - a_1 \frac{(t_e - t_a)}{G}$$

Donde (tomando los datos del producto comercial VIESSMAN VITOSOL-100):

$\eta_0 = 0,826$

$a_1 = 4,249 \text{ W/m}^2 \text{ K}$

t_e = temperatura de entrada del agua al panel

t_a = temperatura ambiente

G = potencia radiante incidente media

En las siguientes figuras queda reflejado el resultado de los cálculos y que por su enorme extensión, ya que dichos cálculos han sido realizados para cada una de las horas del año, solo reflejamos las primeras líneas (Figura 4) y las últimas (Figura 5)

realizaremos un cálculo horario de la misma, para obtener asimismo unas pérdidas horarias del depósito.

5. Estudios realizados

El estudio se centra en una edificación de 10.000 m², para la cual se ha realizado simulaciones en diversos escenarios de producción-acumulación que han sido los siguientes:

- Sistema tradicional formado por calderas alimentadas por gas.
- Sistema tradicional formado por Bomba de Calor aire-agua.
- Sistema de acumulación estacional total con transferencia de energía directa con el depósito estacional, y suplementada bomba de calor agua-agua, evaporando sobre el agua del depósito.
- Sistema de acumulación estacional con transferencia de energía desde el depósito estacional solo cuando las condiciones exteriores no permitan un buen COP en un uso de bomba de calor aire-agua con el ambiente exterior.

6. Sistemas tradicionales

Los dos primeros representan el consumo energético habitual. Para la caldera hemos considerado un consumo energético con un rendimiento del equipo de 0,85. Para la bomba de calor le hemos considerado los siguientes escalones de COP para la capacidad integrada de la maquina:

- Para temperaturas exteriores inferiores a -5°C, COP₀=1.
- Para temperaturas exteriores de -5°C, COP₁=1,3.
- Para temperaturas exteriores de 15°C, COP₂=3,79.
- Para temperaturas exteriores entre -5°C y 15°C, COP = 0,125*(Text-Tea₁)+COP₁

Con estos parámetros obtenemos un COP estacional de 2,75 teniendo un pico de consumo eléctrico máximo en el año de 375 Kw.

7. Sistema de acumulación estacional con transferencia total de energía desde el depósito y bomba de calor agua-agua.

Esta simulación consiste en aportarle energía al depósito desde los paneles solares para cubrir totalmente, la demanda energética anual.

En función de la temperatura del depósito discriminamos dos tipos de desacumulación. Cuando la temperatura del mismo es superior a los 50°C, y por lo tanto se puede suministrar agua a 45°C para uso directamente en la calefacción del edificio, empleamos esta energía totalmente gratuita.

Cuando la temperatura del depósito es inferior a los 50°C, utilizamos este agua como fluido de intercambio para la evaporación de una bomba de calor agua-agua, pudiendo de esta forma poder hacer trabajar a la maquina en condiciones optimas de COP. De datos obtenidos de fabricantes comerciales (CARRIER), hemos considerado lo siguiente:

- Temperatura limite inferior de funcionamiento por posibilidad de congelamiento, para la entrada de agua al evaporador 9°C
- Temperatura limite superior de funcionamiento, 25°C. Para temperaturas superiores se mantiene el COP constante.
- COP₁=4,61, para temperatura de entrada de agua de (Tew₁) 9°C.
- COP₂=5,71 para temperatura de entrada de agua de (Tew₂) 25°C
- Para temperaturas de entrada de agua intermedias COP=0,069*(Tew-Tew₁)+COP₁

Para una superficie edificada considerara como base de este estudio de 10.000 m2, y con los criterios anteriormente descritos obtenemos una demanda de calefacción anual de 1.361.684 Kwh.

Realizados los cálculos de simulación climática hora a hora a lo largo de los 365 días del año, para:

- Rendimiento de los paneles solares.
- Energía captada de los paneles solares.
- Energía consumida en la edificación.
- Rendimiento energético de las bombas de calor.
- Temperatura en el depósito de acumulación estacional.
- Consumo eléctrico de las bombas de calor.

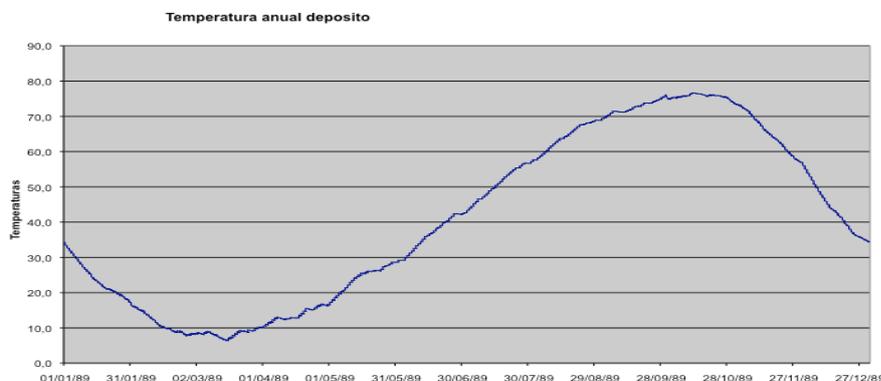
Obtenemos que para dar suministro a esta demanda hemos previsto una planta solar de 1.670 m2 de captadores y un depósito acumulador estacional de 8.300 m3 de volumen.

De la simulación realizada obtenemos los siguientes resultados:

- PANELES:
 - Superficie de captación 1.670 m2
 - Energía solar captada 1.293.868 Kwh
 - Rendimiento anual 0,57
- DEPOSITO ESTACIONAL
 - Volumen 8.300 m3
 - Perdidas térmicas 134.162 Kwh
 - Rendimiento anual 0,8963
 - Temperatura máxima alcanzada..... 76,6 °C
 - Temperatura mínima del deposito 6,3 °C
- DESACUMULACION
 - Energía directa desde el deposito..... 300.844 Kwh
 - Energía desde la bomba de calor 847.926 Kwh
 - Consumo eléctrico BC 212.914 Kwh
 - COP estacional de la instalación 6,40
 - Consumo eléctrico máximo 136 Kw

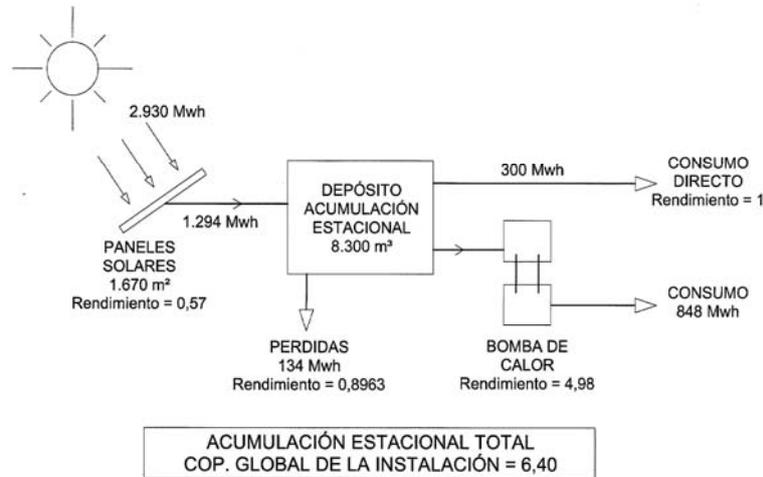
La evolución de la temperatura en el depósito acumulador a lo largo de todos los días del año esta reflejada en la figura 6.

Figura 6: Evolución de la temperatura del depósito acumulador estacional a lo largo del año para el sistema de acumulación total



Esquemáticamente la instalación y su balance energético lo podemos ver en la figura 7

Figura 7: Esquema básico de la instalación de acumulación total



8. Sistema de acumulación estacional con transferencia total de energía desde el depósito y bomba de calor agua-agua y aire agua.

Con el fin de reducir la instalación tanto en la superficie de captación como en el volumen de acumulación estacional, pensamos en la posibilidad de aprovechar el intercambio con el ambiente en los momentos en que las condiciones sean favorables, laminando las situaciones adversas de temperatura exterior.

Esta simulación consiste en discriminar dos situaciones de temperatura ambiente. Cuando la temperatura exterior esta por debajo de los 5°C realizamos una desacumulación idéntica a la descrita en el apartado anterior. Cuando las condiciones de temperatura exterior están por encima de los 5°C, consideramos que el intercambio del evaporador con el aire, es suficientemente eficiente para trabajar en estas situaciones. El objetivo es por un lado reducir la planta de paneles solares y el volumen del depósito de acumulación estacional, y por otro evitar el funcionamiento de la bomba de calor en situaciones de baja o nula eficiencia energética.

Las consideraciones de COP citadas anteriormente para la bomba de calor aire-agua, son las mismas que hemos considerado en esta simulación.

Siguiendo con el ejemplo de una superficie edificada igual que en el caso anterior de 10.000 m², y con los mismos criterios anteriormente ya descritos, la demanda de calefacción anual será la misma de 1.361.684 Kwh.

Para dar suministro a esta demanda en estas condiciones hemos pensado una planta solar de 700 m² de captadores y un depósito acumulador estacional de 4.000 m³ de volumen.

La simulación es absolutamente análoga al caso anterior a partir de los mismos datos horarios, y obteniendo lógicamente resultados diferentes.

De la simulación realizada extraemos los siguientes resultados:

PANELES:

- Superficie de captación..... 700 m²
- Energía solar captada 488.477 Kwh
- Rendimiento anual 0,51

DEPOSITO ESTACIONAL

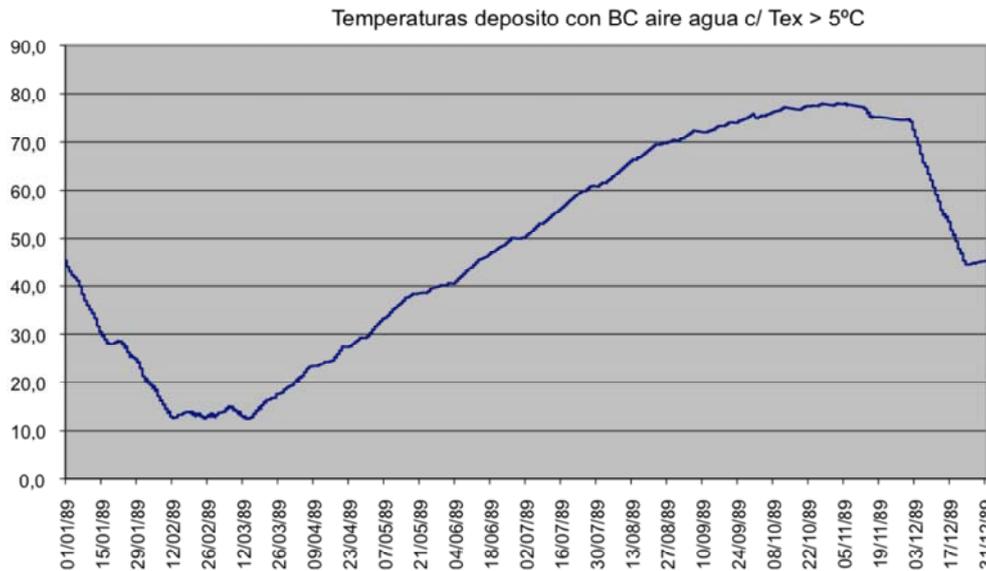
- Volumen 4.000 m³
- Perdidas térmicas 90.763 Kwh
- Rendimiento anual 0,8139
- Temperatura máxima alcanzada..... 78,00 °C
- Temperatura mínima del deposito 12,4 °C

DESACUMULACION

- Energía directa desde el deposito 130.173 Kwh
- Energía desde la bomba de calor agua-agua 263.133 Kwh
- Energía desde la bomba de calor aire-agua 908.547 Kwh
- Consumo eléctrico BC agua-agua 59.832 Kwh
- Consumo eléctrico BC aire agua 307.576 Kwh
- COP estacional de la instalación 3,71
- Consumo eléctrico máximo..... 159 Kw

La evolución de la temperatura en el deposito acumulador esta reflejada en la figura 8

Figura 8: Evolución de la temperatura del depósito acumulador estacional a lo largo del año para el sistema de acumulación para temperatura exterior < 5°C



De igual manera que en el caso exterior el esquema seria el de la figura 9

Figura 9: Esquema básico de la instalación de acumulación para temperatura exterior < 5°C



9. Costes de instalación

Para la inversión adicional necesaria, hemos realizado unas estimaciones generales sobre la misma que nos permitirá conocerla de un modo aproximado en función de parámetros como son los m² de paneles solares, los cuales definen de forma aproximada la inversión en elementos hidráulicos tuberías de conexión, bombas de circulación de agua, equipos de intercambio energético. Estas cifras, se verán afectados por las condiciones de contorno reales de cada caso concreto.

Realizamos la estimación de los dos casos concretos que hemos estudiado y obtenemos los siguientes resultados de la tabla 1 y tabla 2:

Tabla 1: Coste de Instalación caso 1

ACUMULACION SOLAR TOTAL SUMINISTRO DIRECTO + BC AGUA. AGUA			
CONCEPTO	UNIDAD	€	TOTAL
DEPOSITO DE ACUMULACION (€/M3) ⁽¹⁾	8.300,00	50,00	415.000,00
PANELES SOLARES (€/M2) ⁽²⁾	1.670,00	310,00	517.700,00
RED DE TUBERIAS (€/M2 PANEL) ⁽³⁾		16,00	26.720,00
EQUIPOS HIDRALICOS DE PRIMARIO(bombas, intercambiadores) (€/M2 PANEL)		9,00	15.030,00
EQUIPOS HIDRALICOS DE SECUNDARIO(bombas, intercambiadores) (€/M3 ACUMULACION)		7,00	58.100,00
TOTAL			1.032.550,00
REPERCUSION €/M2 UTIL DE EDIFICIO			103,26

Tabla 2: Coste de Instalación caso 2

ACUMUL. SOLAR, SUMINISTRO DIRECTO+B.C.AGUA-AGUA+B.C.AIRE-AGUA c/Text(°C)>5			
CONCEPTO	UNIDAD	€	TOTAL
DEPOSITO DE ACUMULACION (€/M3) ⁽¹⁾	4.000,00	50,00	200.000,00
PANELES SOLARES (€/M2) ⁽²⁾	700,00	310,00	217.000,00
RED DE TUBERIAS (€/M2 PANEL) ⁽³⁾		16,00	11.200,00
EQUIPOS HIDRALICOS DE PRIMARIO(bombas, intercambiadores) (€/M2 PANEL)		9,00	6.300,00
EQUIPOS HIDRALICOS DE SECUNDARIO(bombas, intercambiadores) (€/M3 ACUMULACION)		7,00	28.000,00
TOTAL			462.500,00
REPERCUSION €/M2 UTIL DE EDIFICIO			46,25

- (1) Estimación de la construcción en base a 4/5 m de altura y 200/250 €/m²
 (2) Según precios orientativos comerciales
 (3) Estimado 4 m. de tubería por ud. panel

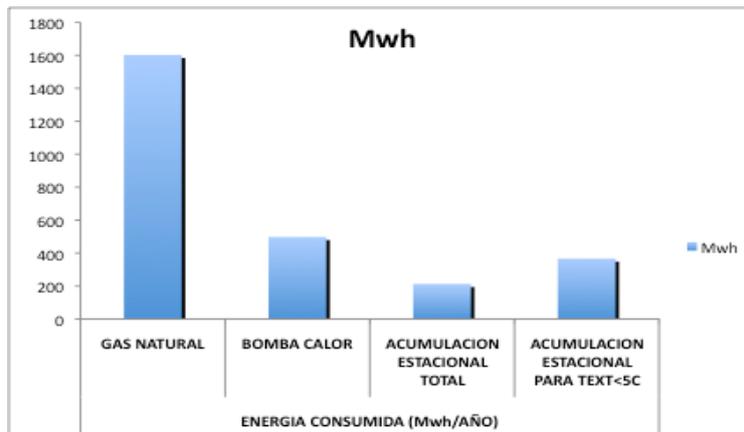
10. Ahorro energético. Reducción de emisiones

En los cálculos de consumos energéticos, no están considerados los generados por los diversos bombeos que es necesario realizar.

Para los diversos sistemas estudiados, la energía anual consumida es:

- Caldera de gas natural1.602 Mwh
- Bomba de calor aire agua 498 Mwh
- Sistema de acumulación total mas bomba de calor aire-agua.....213 Mwh
- Sistema de acumulación para temperaturas inferiores a 5°C367 Mwh

Figura 10: Gráfico comparativo de energía consumida por los diversos sistemas



Por lo tanto el sistema más eficiente, el sistema de acumulación estacional total y bomba de calor agua-agua produce el ahorro energético siguiente:

- Sobre una instalación de caldera de gas natural 1.398 Mwh, lo que representa un ahorro del 86,7% de la energía.
- Sobre una instalación de bomba de calor aire-aire 285 Mwh, lo que representa un ahorro del 57,2% de la energía.

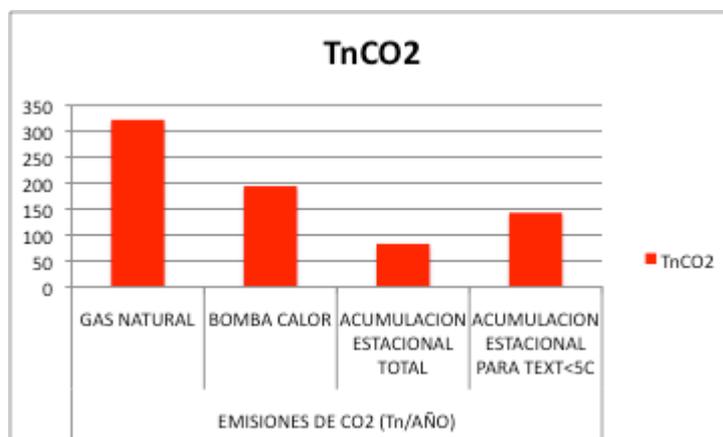
En el sistema en el que solamente utilizamos la acumulación estacional cuando la temperatura exterior esta por debajo de los 5°C, el ahorro será el siguiente:

- Sobre una instalación de caldera de gas natural 1.235 Mwh, lo que representa un ahorro del 77,1% de la energía.
- Sobre una instalación de bomba de calor aire-aire 131 Mwh, lo que representa un ahorro del 26,3% de la energía.

En cuanto a las emisiones de CO2 según los sistemas analizados son las siguientes:

- Caldera de 322 TnCO2
- Bomba de calor aire agua..... 194 TnCO2
- Sistema de acumulación total mas bomba de calor aire-agua 83 TnCO2
- Sistema de acumulación para temperaturas inferiores a 5°C..... 143 TnCO2

Figura 11: Gráfico comparativo de emisión de CO₂ por los diversos sistemas



Para ello hemos utilizado el mix Español del año 2010 de 0,39 Ton de CO2 por Mwh eléctrico.

A nivel económico los ahorros, cuantificados en euros para este año 2010, considerando para el Gas Natural un precio de 0,038858 €/kWh, y para la energía eléctrica 0,120623 €/kWh, serian aproximadamente de:

- ACUMULACION ESTACIONAL TOTAL
 - Con respecto a la instalación con caldera de gas el ahorro de explotación será de 36.500 €/año
 - Con respecto a la instalación de Bomba de Calor 35.500 €/año

- ACUMULACION ESTACIONAL CUANDO $T_{ext} < 5^{\circ}\text{C}$
 - Con respecto a la instalación con caldera de gas el ahorro de explotación será de 18.500 €/año
 - Con respecto a la instalación de Bomba de Calor 16.500 €/año

11. Conclusiones

El sistema propuesto tiene una altísima eficiencia energética, por lo que es en términos de sostenibilidad muy ventajoso. En el sistema de acumulación estacional total tanto la superficie de captación como el volumen del deposito de acumulación estacional, provocan una elevada inversión y unos requerimientos de espacios y volúmenes bastante grandes. El sistema de laminación de puntas para temperaturas inferiores a los 5°C , tanto la superficie como el volumen de almacenamiento son de tamaño mas razonables en relación con la superficie alimentada.

Las condiciones de contorno harán más o menos elevada la inversión, pero lo que parece más adecuado es utilizar este tipo de sistemas para centralización de energía a núcleos urbanos y no a un solo edificio. Cuanto más grande es el depósito menos pérdidas tiene y menor inversión proporcional será necesaria.

Es de destacar que la repercusión económica (€/m²) de una instalación con un altísimo grado de eficiencia estacional, y por lo tanto con un ahorro muy importante en las emisiones, no aparece como elevado y muy inferior a los provocados por otros aspectos de una construcción, como pueden ser ciertos acabados, o diseños complejos, que ni producen ahorros en el funcionamiento futuro del edificio ni tampoco beneficios ecológicos.

En relación con la rentabilidad económica del sistema y periodo de retorno de la inversión, es necesario remarcar que los ahorros estimados se refieren únicamente al termino de energía, al que habría que añadirle los costes de emisión, que en el caso de España para el 2010, la penalización es de 100 € por Ton de CO₂. Lo que añadido al ahorro directo en energía podría amortizarse entre 15 y 20 años.

Por todo ello consideramos que “la geotermia artificial”, es un sistema viable de gran ahorro energético y con una razonable amortización económica, y que fundamentalmente produce una enorme reducción de emisiones y por lo tanto, es generador de Ciudades mas sostenibles.

12. Bibliografía

RADIACION SOLAR SOBRE SUPERFICIES INCLINADAS- Ministerio de Industria y Energía de España

VALORES CLIMATICOS- Agencia Estatal de Meteorología AEMET Gobierno de España
UNE 100001:2001

NASA Surface meteorology and Solar Energy (SSE) Release 6.0 Data Set (Jan 2008)

OPTIMIZATION OF COMMUNITY SOLAR HEATING SYSTEM WITH HEAT PUMP AND SEASONAL STORAGE- P.D.Lung

SOLAR ASSISTED DISTRICT HEATING SYSTEM WITH SEASONAL THERMAL ENERGY STORAGE IN EGGENSTEIN-LEOPOLDSHAFEN – F.Ochs, J.Nubbicker, R.Marx, H.koch, W. Heidemann, H.Muller-Steinhagen

OPTIMIZATION OF SOLAR DISTRICT HEATING SYSTEMS: SEASONAL STORAGE, HEAT PUMPS, AND COGENERATION- D.Lindenberger, T.Bruckner, H.-M.Groscurth. R.Kumel.

Correspondencia (Para más información contacte con):

GEASYT, S.A. Gustavo Álvarez Pérez

Phone: +34 91 579 56 94

Fax: +34 91 570 51 04

E-mail : geasyt@geasyt.com

URL : www.geasyt.com