



VIABILIDAD ECONÓMICA DE UN SISTEMA GEOTÉRMICO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LA SIDRA

Ricardo Hevia-Aza García ^[1], M.A. Rey Ronco ^[2], T. Alonso Sánchez ^[3]

^[1] Alumno Master en Ingeniería Energética. Universidad de Oviedo.

^[2] Tutor. Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

^[3] Tutora. Departamento de Explotación y Prospección de Minas. Universidad de Oviedo.

ricardohevia@geo-3.es

Departamento de Energía. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

En el sector de la sidra natural, uno de los principales costes tanto en la elaboración como en su almacenamiento, es el elevado consumo de energía de refrigeración. Este hecho, junto con la escasa diferencia de temperaturas entre la sidra (10-11°C) y el terreno (14°C) motiva el siguiente estudio de viabilidad económica, donde se plantea instalar un sistema geotérmico en un llagar que permita la reducción de dichos costes de refrigeración.

A la hora de analizar la instalación geotérmica, se han estudiado los siguientes factores que influyen en su periodo de amortización: geología del terreno, potencia y demanda energética, cálculo del rendimiento generado tanto nominal como medio estacionario (SPF), cálculo de la longitud de perforación, costes de instalación y consumos eléctricos.

Tras los análisis realizados se destaca un elevado rendimiento de la bomba de calor llegando hasta un $EER_{nominal}$ de 8.1 y un EER_{SPF} de 9.55, que supone un ahorro anual del consumo eléctrico del 79 %, a lo que hay que añadir el ahorro por la disminución de la potencia contratada. Para dimensionar la instalación geotérmica se determina que la potencia instalada más eficiente es la que satisface el 90 % de la demanda térmica anual, que supone el 60 % de la potencia máxima necesaria, cubriéndose la demanda restante con el sistema de refrigeración actual.

Con todo ello, se concluye que la instalación de un sistema geotérmico para el almacenamiento de la

sidra supone un ahorro de consumo de refrigeración superior al 79 %, y un periodo de amortización de la inversión inicial de 7 años, para las condiciones del llagar estudiado.

ABSTRACT

In the natural cider sector one of the principal associated costs is high energy consumption to maintain the years round temperature of the product at 10-11 °C. The ground temperature in Asturias is 14 °C, and the slight difference between this and the optimum temperature for cider storage has prompted this study into the economic viability of installing a Geothermal System to reduce such refrigeration costs.

The analysis of the Geothermal System installation is concentrated on those factors which will determine the length of amortization of initial investment. These factors are; the geology of the terrain, power and demand of the energy required, the value of both nominal and mean seasonal performance factor (SPF), perforation dimension, cost of installation and finally electricity consumption.

The results of this analysis indicates significant performance of the heat pump in reaching a $EER_{nominal}$ of 8.1 and a ERR_{SPF} of 9.55 which translates to a reduction of the electrical consumption by 79 %, to which still have to be added those saving resulted by the reduction of the power needed there contracted. In order to customize the parameters for the setup of the geothermal installation it has been determined



that the most efficient installation power is that which satisfies 90 % of the annual thermal demand which it is 60 % of the maximal necessary power covering the rest of the power needed by actual refrigeration system.

In light with the results of this analysis, it is possible to conclude that, for this particular case, the installation of a geothermal system for the storage of the cider translates to a reduction in the consumption of the energy for the refrigeration greater than 79 %. It also demonstrates that the period of amortization of initial investments is 7 years from initial investment.

1. INTRODUCCIÓN

El estudio de la viabilidad económica para la instalación de un sistema geotérmico para el mantenimiento de la sidra a una temperatura constante a lo largo de todo el año, se realiza utilizando de ejemplo el Llagar de la Sidra Menéndez, situado en el Término Municipal de Gijón, en la población de Fano. Se ha elegido este llagar por ser uno de los más representativos de la región, con un volumen de almacenamiento de sidra importante. Aunque los cálculos se basan en este llagar, el rendimiento del sistema, que es el que domina el ahorro económico, es equiparable a otros llagares de sidra natural.

La sidra natural asturiana, una vez extraído el zumo de la manzana se mantiene a una temperatura de unos 10-11°C a lo largo de todo el año, embotellándose según necesidad. Para ello es necesaria una máquina refrigeradora que mantenga esa temperatura constante a lo largo del año.

A unos 100 metros de profundidad la temperatura del terreno permanece todo el año a unos 14 °C. Esta temperatura es muy similar a la que se mantiene la sidra, por lo que el salto térmico que debe salvar la bomba de calor no es muy elevado, posibilitando la obtención de un rendimiento muy superior al que se alcanza habitualmente para climatizar viviendas unifamiliares o residenciales.

Dicho rendimiento, en adelante EER (Energy Efficiency Ratio), se calcula en sus dos vertientes: "nominal", considerando unas temperaturas de trabajo fijas, y "medio estacional", denominado SPF (Seasonal Performance Factor), el cual determina dicho EER a lo largo de todo el año en función de la temperatura atmosférica.

A continuación se da una breve explicación de la geotermia así como de la elaboración y almacenamiento de la sidra.

Geotermia

La normativa Alemana VDI 4640 [1] define la energía geotérmica como la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la Tierra. Esta definición ha sido adoptada por el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC) completándola del siguiente modo: "Engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia".

Las aplicaciones que se pueden dar a un recurso geotérmico dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía [4]. Excepto en zonas muy localizadas de España, la energía geotérmica más extendida para su aprovechamiento es la de muy baja temperatura, menor de 30°C. Este tipo de sistemas, mediante la ayuda de la bomba de calor, puede aprovecharse para suministrar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria.

Elaboración y almacenamiento de la sidra

La temporada de elaboración de la sidra comienza en el mes de octubre, cuando la manzana es recogida y transportada al llagar. A continuación se pasa por la trituradora, y de ahí, directamente al llagar, donde se realiza el prensado.

Una vez extraído el mosto, se bombea hacia los toneles de castaño o de acero inoxidable, donde la sidra dulce proveniente de las prensas está en disposición de fermentar. Durante el proceso de fermentación, el mosto por acción de las levaduras y junto con las bacterias del entorno, se va transformando en sidra con desprendimiento de anhídrido carbónico.

La fermentación tiene lugar a temperatura controlada, hasta que en los menguantes de enero y febrero se realizan los trasiegos rotativos para eliminar impurezas y homogeneizar la sidra. Este proceso suele llegar hasta los meses de abril o mayo.

Posteriormente la sidra se mantiene almacenada en toneles de castaño o acero inoxidable durante todo el año a una temperatura constante de 10-11°C, embotellándose a medida que se va necesitando.



2. ANTECEDENTES

El principal uso de la geotermia es la climatización en el sector residencial, cediendo o extrayendo calor del terreno, según se necesite refrigeración o calefacción. Esto se realiza por medio de un conjunto de colectores enterrados en el subsuelo (perforaciones) por los que circula una solución de agua con anticongelante. Estos colectores recogen calor del terreno, la llevan a la bomba de calor que aprovecha ese calor, y posteriormente por medio de sistemas emisores de baja temperatura como pueden ser fan coil, suelo radiante o radiadores de baja temperatura distribuyen esta temperatura por la vivienda.

Según el Estudio Técnico PER 2011-2020. Evaluación del potencial de energía geotermia [10], el 69,70% de la capacidad geotérmica instalada en el mundo es para este tipo de uso residencial.

Geotermia aplicada al vino

La Bodega riojana Marqués de Terán implantó en el año 2009 la energía geotérmica, siendo la primera bodega en todo el mundo en utilizar el calor de la tierra para la elaboración del vino [3]. Los principales motivos que impulsaron la instalación de este sistema fueron el ahorro energético, que puede llegar al 80%, y el carácter no contaminante de dicha energía.



Figura 1. Imagen extraída de la web de la Bodega Marques de Teran

La bodega está situada en un terreno que, a 100 metros de profundidad, mantiene una temperatura durante todo el año que oscila entre 14–18 °C. Utilizando este recurso natural, se creó una serie de conductos que forman un circuito cerrado por donde circula el agua que capta el calor de la

tierra. La bomba de frío-calor geotérmica subirá o bajará la temperatura según sea invierno o verano y las necesidades de la bodega en cada momento, lo que permite mantener la temperatura necesaria en las distintas instalaciones en las que se produce el vino.

Una de las grandes ventajas que proporciona la energía geotérmica es que permite minimizar los saltos térmicos que se producen con respecto a la temperatura exterior

3. OBJETIVOS

El objetivo del estudio consiste en conocer la viabilidad económica de un sistema geotérmico para el mantenimiento de la temperatura constante de la sidra a lo largo del año. Para ello, se estudia el sistema actual con máquinas refrigeradoras y su rendimiento, y posteriormente se calcula el rendimiento con un sistema geotérmico.

Una vez que se obtienen estos rendimientos, lo que se debe calcular para dimensionar correctamente este sistema geotérmico es lo siguiente:

- Potencia térmica necesaria para refrigerar toda la instalación
- La demanda energética (horas de utilización y potencia a lo largo de un año entero)
- Calcular los metros de perforación
- Coste de la instalación de geotermia
- Aprovechamiento de la instalación actual
- Calcular los ahorros económicos
- Calcular la amortización

4. METODOLOGÍA

A continuación se describe el sistema de almacenamiento de la sidra actual, y posteriormente se realiza un estudio para el cálculo del rendimiento conseguido por medio de la geotermia y el ahorro alcanzado para diferentes potencias de instalación.

4.1 Sistema actual

La refrigeración se realiza mediante dos máquinas refrigeradoras eléctricas (Ferroli: modelo RGA 130 LT) de potencia frigorífica 127 kW.

El modo de refrigerar la sidra es por medio de circuitos cerrados de agua a 8 °C de temperatura, que discurre por los distintos depósitos de sidra, insertándose en cada tonel por medio de tubería en forma de "U". De este modo, mantiene la sidra a la temperatura constante de 10 – 11 °C.



En la tabla 1 se muestra el modo de distribución de los cuatro circuitos de refrigeración existentes así como las maquinas refrigeradoras que los abastecen.

Litros	Material	Cantidad	Maq. Refrigeración
70.000	Acero inoxidable	24	Maq. 1
30.000	Fibra	12	Maq. 1
43.000	Acero inoxidable	10	Maq. 2
29.000	Acero inoxidable	24	Maq. 2

Tabla 1. Tabla depósitos

Los consumos eléctricos del llagar no se encuentran discretizados, contabilizándose los consumos eléctricos de las máquinas refrigeradoras con el consumo de los diferentes aparatos eléctricos y de la iluminación del llagar y sus oficinas.

4.2 Instalación geotérmica

La instalación de un sistema geotérmico requiere el estudio previo de la geología de la zona, de la climatología dominante, así como de la potencia y demanda energética requerida por la instalación. A continuación se estudian estos parámetros que influyen en el dimensionamiento de la instalación geotérmica.

Geología

Es de suma importancia conocer la geología e hidrogeología de la zona donde se va a realizar una instalación geotérmica, ya que en función de los materiales geológicos existentes, y la posible existencia de aguas subterráneas, tendrá sus características geotérmicas correspondientes, y por ello, la necesidad de realizar más o menos metros de perforación para disipar la potencia necesaria.

Por regla general las propiedades geotérmicas son más favorables en rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, y en materiales sedimentarios saturados en agua, y algo menos favorables en estos materiales sedimentarios como arcillas, arenas y gravas, con poco contenido en humedad. La existencia de aguas subterráneas también influye notablemente, ya que, si se dispone de un caudal de agua necesario para la instalación, se puede utilizar esta agua directamente extrayendo su calor, aumentando el rendimiento de la

instalación, de no ser así, estas aguas subterráneas tienen un poder de disipación de calor mayor que los materiales sólidos, con lo que también favorece la instalación del sistema geotérmico

En este caso, la zona donde está ubicado el llagar, se encuentra situado en el contacto de rocas calizas, dolomías y arcillas de edad Jurásica y con arcillas, areniscas, evaporitas y conglomerados del Triásico [9], por lo que, es difícil precisar el material involucrado en el estudio, y no se tiene constancia de la existencia de ningún acuífero subterráneo.

A efectos de cálculo para el dimensionado de los metros de perforación necesarios, se utilizará como material predominante la arcilla con cierto grado de humedad, ya que presenta unos valores geotérmicos medios de todos los materiales existentes en la zona.

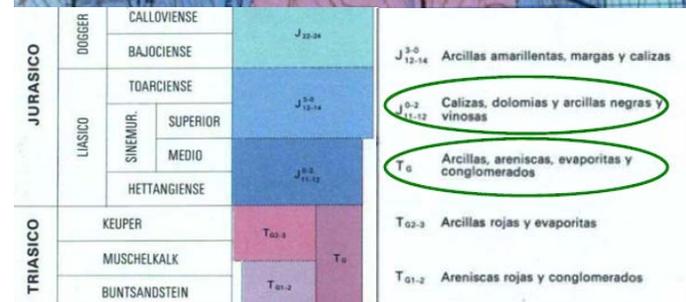


Figura 2. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (MAGNA), Oviedo, número 29.

Potencia frigorífica (kW), demanda energética (kWh)

La manera más eficaz para calcular la potencia exacta necesaria de la instalación, es calculando las pérdidas de calor de los toneles, del edificio donde se encuentran estos toneles y las condiciones climatológicas exteriores.

En este estudio, para conocer estos parámetros, se ha optado por utilizar los datos, cedidos por el llagar de consumos eléctricos mensuales, que para



el mes de agosto son de 40.157 kWh, de los cuales el 90 % corresponden a la refrigeración de la sidra, con lo que el consumo térmico es de **36.141 kWh**.

Por otro lado, se conoce por medio del Aemet las "Bin hours" para cada temperatura exterior del mes de agosto, y también se conoce que la temperatura más calurosa durante el 2013 fue de 28,8 C, y que la máquina refrigeradora se pone en marcha cuando la temperatura exterior asciende de los 16 °C.

De este modo, conociendo la temperatura exterior máxima, y la mínima a la que se pone en funcionamiento la máquina frigorífica, y asumiendo que la **carga térmica (kW)** se puede calcular mediante una función lineal [11, 13], se obtiene la carga térmica para cada temperatura, que multiplicándolo por las Bin hours (h) correspondientes, se obtienen los kWh para cada temperatura, y por último, sumando todos estos kWh para cada temperatura, se calcula los kWh mensuales.

Si se supone que la potencia máxima de instalación para la temperatura de 28,8 °C es de 110 kW. Los kWh consumidos en el mes de agosto sería **37.535,4 kWh**, un valor muy similar al calculado anteriormente por medio de los consumos eléctricos, por lo se puede admitir, que la potencia máxima de instalación es **110 kW**.

$$Pot. segun T^{\circ} ext. = ((T^{\circ} ext - T^{\circ} min) * Pendiente de la recta) \times 1. \times$$

$$Pendiente de la recta = \frac{Pot. max.}{(T^{\circ} max - T^{\circ} min)} \times 2. \times$$

$$Demanda (kWh) = Pot. segun T^{\circ} ext * Bin hours \times 3. \times$$

Modo Refrigeración Agosto			
Rango T ^a	Carga térmica (kW)	Bin hours	kWh
15 - 15,9	0	3	0
16 - 16,9	8,5	6	51
17 - 17,9	16,9	25	423
18 - 18,9	25,4	57	1.447
19 - 19,9	33,8	61	2.065
20 - 20,9	42,3	133	5.627
21 - 21,9	50,8	161	8.174
22 - 22,9	59,2	120	7.108
23 - 23,9	67,7	120	8.123
24 - 24,9	76,2	46	3.503
25 - 25,9	84,6	12	1.015
26 - 26,9	93,1	0	0
27 - 27,9	101,5	0	0
28 - 28,9	110	0	0
Pendiente	8,5	341,2	37.535

Tabla 2. Demanda energética (kWh) en función de las temperaturas atmosféricas del mes de agosto

Una vez se conoce esta potencia máxima, se calcula la demanda energética (kWh) para todo el año 2013, utilizando las "Bin hours" suministradas por Aemet, del mismo modo que para el mes de agosto. Como se observa en los cálculos de la tabla 3 la demanda anual de energía para la refrigeración de la sidra es de **146.435 kWh**.

2013			
Rango T ^o	Carga térmica (kW)	Bin hours	kWh
15 - 15,9	0,0	588	0
16 - 16,9	8,5	537	4.544
17 - 17,9	16,9	518	8.766
18 - 18,9	25,4	546	13.860
19 - 19,9	33,8	552	18.683
20 - 20,9	42,3	520	22.000
21 - 21,9	50,8	519	26.349
22 - 22,9	59,2	350	20.731
23 - 23,9	67,7	255	17.262
24 - 24,9	76,2	130	9.900
25 - 25,9	84,6	40	3.385
26 - 26,9	93,1	8	745
27 - 27,9	101,5	1	102
28 - 28,9	110,0	1	110
Total			146.435

Tabla 3. Demanda energética anual en función de las temperaturas atmosféricas

Cálculo del rendimiento (EER)

El rendimiento de una bomba de calor se denomina COP (Coefficient of Performance) si se trata de modo calefacción o EER (Energy Efficiency Ratio) si se trata de refrigeración, como ocurre en este caso estudiado [5]. Este rendimiento calcula la potencia calorífica (Q_f) cedida por la máquina en función de la potencia eléctrica (W) consumida por la misma.

$$EER = \frac{Q_f}{W} \times 4. \times$$

Para realizar el cálculo del EER, se utiliza el ciclo del refrigerante R-410a, en el Diagrama de Presión-Entalpía, para calcular las entalpías. Para ello, se debe estudiar las temperaturas a las que intercambia calor la bomba de calor tanto en el evaporador como en el condensador.

En este caso, como el refrigerante de la sidra se encuentra a 8 °C, y es necesario un salto térmico de 4 °C para una óptima transferencia de calor en el evaporador, por lo que, la temperatura a la que estará el refrigerante dentro de la bomba de calor será de 4 °C.

Por otro lado, si se considera una temperatura del terreno de 14 °C, y una temperatura de retorno óptima al sondeo de 25 °C, y un salto de 5 °C en el condensador para que se realice correctamente



la transferencia de calor, la temperatura del líquido refrigerante será de 30 °C.

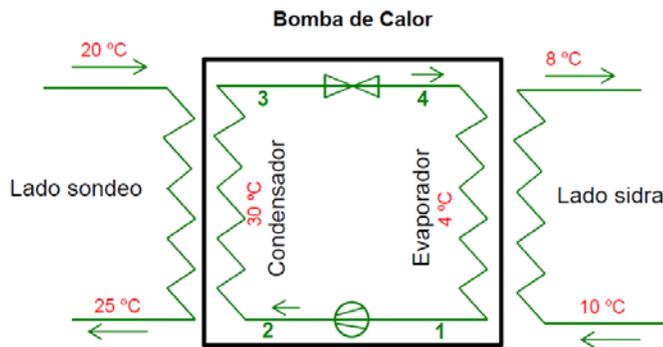


Figura 3. Temperaturas a las que trabaja la instalación geotérmica

Una vez determinado estas temperaturas de trabajo en el condensador y evaporador de la bomba de calor, se representan en el Diagrama de Presión-Entalpía.

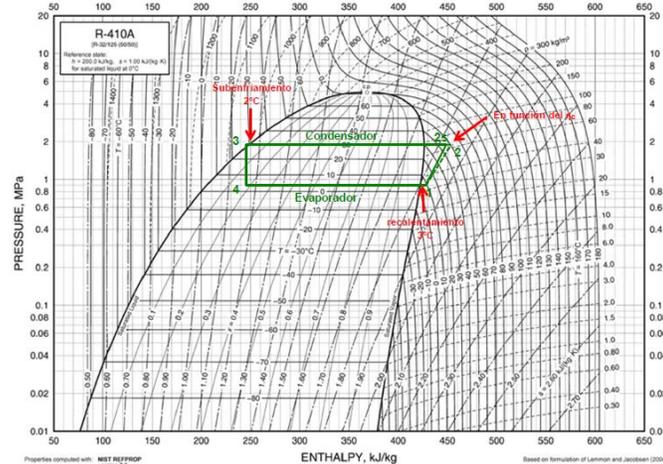


Figura 4. Diagrama de Presión-Entalpía del refrigerante R-410a con el ciclo del refrigerante

A continuación de describe el ciclo del refrigerante en el Diagrama de Presión-Entalpía y sus diferentes temperaturas, presiones y entalpías:

1- En el evaporador la temperatura a la que se encuentra absorbiendo el calor de la sidra está a 4 °C, por tanto, a una presión de 9,00 bar. Durante el proceso de evaporación la temperatura permanece constante hasta alcanzar el límite de vapor de saturación, donde a la misma presión se recalienta 3 °C (necesarios para un intercambiador de placas) para que la transformación sea completa a fase vapor. Alcanzando de ese modo el **punto 1** unos valores de 7 °C, 9,00 bar y una entalpía de **433 kJ/kg**.

2- El condensador trabaja a 30 °C, con lo que es necesario que este a una presión de 10,90 bar. Es por ello que el compresor aumenta la presión desde los 9,00 hasta los 10,90 bar. Esto ocurre de forma adiabática e isentrópica, con lo que el **punto 2s** presenta unas propiedades de temperatura de 47 °C y entalpía de **449 kJ/kg**. De este modo, la evolución del fluido en el compresor es la 1-2s. Esta posición del 2s se desvía de la real, ya que supone un rendimiento del compresor del 100 %. En la realidad, los compresores poseen un rendimiento del 70 %, por lo que se debe corregir esta diferencia utilizando para ello la ecuación 5.

$$\eta_c = 0.7 = \frac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1} \quad 5.x$$

De este modo, la entalpía real a la salida del compresor en el **punto 2** es **456 kJ/kg** y su temperatura 51 °C.

3- En el condensador a presión constante, el refrigerante cede el calor al terreno, enfriándose en primer lugar, desde los 51°C hasta los 30 °C, y posteriormente a temperatura constante hasta el límite de líquido saturado, donde el refrigerante se subenfria 2 °C (necesarios para un intercambiador de placas) para que no quede ninguna burbuja de vapor. Alcanzando de ese modo el **punto 3** una temperatura de 28 °C, una presión de 10,90 bar y una entalpía de **248 kJ/kg**.

4- En la válvula de expansión, el refrigerante se descomprime, manteniendo constante la entalpía, hasta los 9,00 bar de presión y los 4 °C de temperatura a los que trabaja el evaporador, obteniéndose en este **punto 4** la entalpía de **248 kJ/kg**, la misma que en el punto 3.

Una vez determinados las entalpías en cada punto del ciclo, ya se puede proceder al cálculo del EER real o nominal mediante la ecuación 6.

$$EER_{nominal} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad 6.x$$

Dando, de este modo un rendimiento de la bomba de calor de **EER = 8.1**.

EER medio estacional: A lo largo del año, las temperaturas externas van variando estacionalmente, y con ellas, las temperaturas que se necesiten acondicionar en el interior del local. Con las temperaturas de foco frío y foco caliente irán variando las temperaturas del fluido en las bombas de calor. Esto significa que los rendimientos van a ser variables a lo largo de todo el año.



El coeficiente medio estacional se suele ver también notado como SPF (Seasonal Performance Factor) y suele referirse a un año completo.

El IDAE mediante unos cálculos sencillos, busca estimar los valores de SPF para las distintas tecnologías y aplicaciones de las bombas de calor accionadas eléctricamente mediante la multiplicación de su ERR nominal obtenido en condiciones de ensayo por un factor de ponderación (FP) y por un factor de corrección (FC).

$$EER_{SPF} = EER_{real} * FP * FC \quad 7. \pi$$

El factor de ponderación (FP) tiene en cuenta las diferentes zonas climáticas de España que marca el CTE y se ha calculado mediante una metodología exclusivamente técnica, utilizando valores objetivos.



Figura 5. Zonas climáticas en España referidas a la capital de provincia, según el CTE.

El factor de corrección (FC) tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura de distribución o uso y la temperatura para la cual se ha obtenido el EER nominal, que en este caso el valor será 1 ya que se ha obtenido a la misma temperatura de distribución.

Fuente energética de la bomba de calor	Factor de ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,8	0,8	0,75	0,75
Energía aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía hidrotérmica	0,99	0,96	0,92	0,86	0,8
Energía geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,9	0,85
Energía geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía geotérmica de circuito abierto	1,31	1,3	1,23	1,17	1,09

Tabla 4. Factor de ponderación según la zona climática según el IDAE.

Cálculo de la longitud del intercambiador enterrado

Una vez calculada la potencia extraída para el mantenimiento de la temperatura constante de la sidra (potencia instalada) y las entalpías a las que trabajará la bomba de calor, se calcula los metros de perforación necesarios para disipar dicha potencia. Para ello, en primer lugar se calcula el flujo másico (m) del líquido refrigerante por medio de la ecuación 8 [12]:

$$m = \frac{Q_0}{h_1 - h_4} \quad 8. \pi$$

Con esto se calcula la potencia entregada al terreno por el condensador (Q_c), esto es, la potencia que tiene que disipar el terreno por medio de las perforaciones.

$$Q_c = m * (h_2 - h_3) \quad 9. \pi$$

Conocida esta potencia, es necesario conocer la que es capaz de disipar de terreno. Esto se conoce de una forma exacta mediante la realización de un Test de Respuesta Térmica (TRT), que calcula las características geotérmicas del terreno. En este caso, no se dispone de ningún ensayo en la zona de estudio, por lo que se utilizan los valores asignados a cada material según las tablas publicadas por el IDAE en el Estudio Técnico PER 2011 - 2020 "Evaluación del potencial de energía térmica publicado en el 2011, extraída de la normativa Alemana VDI 4640 [1, 10].

De este modo, como se ha comentado anteriormente, se utiliza para el estudio los valores relativos a unas arcillas húmedas, por lo que, en función de la tabla de valores estandarizados, la capacidad de extracción de calor será de **50 W/m**.

Tipo de roca (litología)	Capacidad de extracción de calor (W/m)
Gravas y arenas secas	< 25
Arcillas y margas húmedas	35 - 50
Calizas y dolomías masivas	55 - 70
Areniscas	65 - 80
Granitos	68 - 85
Rocas básicas (Basaltos)	40 - 65
Rocas metamórficas	70 - 85
Gravas y arenas saturadas de agua	65 - 80
Gravas y arenas con gran circulación de agua	80 - 100

Tabla 5. Tabla de capacidad de extracción de calor de las rocas (modificado por el IDAE de la Norma VDI4640)



Conocida la potencia a disipar por el terreno y la capacidad de éste a realizarlo se calculan los metros a perforar según la ecuación 10.

$$\text{Longitud perforación} = \frac{Q_c(\text{kW}) * 1000}{\text{poder disipación del terrno (W/m)}} \quad 10. \times$$

Con lo que sale una longitud de perforación de **2.472 m** lineales

Coste de la instalación de geotermia

Una vez calculada la potencia máxima necesaria, la demanda energética y los metros de perforación, se realiza un cálculo del coste de la instalación geotérmica, que en este caso es de 119.090 €. Este coste se ha calculado según las tarifas de Geoter, Geo3 y de las bombas de calor Ecoforest [2, 6, 7].

Consumos eléctricos de la geotermia y ahorros conseguidos

Como se ha calculado con anterioridad, la demanda frigorífica del sistema es de 146.435 kWh, el rendimiento medio estacional de la bomba de calor es de 9.5, y la tarifa eléctrica media actual de 9,11 cent €/kWh, el consumo económico a lo largo del año 2013, si estuviera instalado el sistema geotérmico con una potencia de 110 kW, sería de 1.397 €, frente a los 6.671 € actuales. Lo que supone un ahorro de 5.274 €, un 79 % respecto al consumo actual.

$$\text{Consumos (€)} = \frac{\text{Demanda (kWh)}}{\text{Rendimiento (EER)}} \times \text{Precio electrico} \quad 11. \times$$

A su vez, se reduciría del mismo modo la potencia eléctrica contratada, que en estos momentos, supone un mayor coste que los kWh consumidos.

$$\text{Potencia (kW)} = \frac{\text{Potencia termica necesaria}}{\text{Rendimiento (EER)}} \quad 12. \times$$

En este caso, la potencia térmica necesaria para refrigerar la sidra con el sistema geotérmico es de 11,6 kW, frente a los 55 kW actuales. Esto supone una disminución de 43,4 kW de potencia instalada, que haciendo un cálculo aproximado según las tarifas actuales, correspondería a un ahorro de **4.692 €** anual.

Sumando los ahorros en los consumos eléctricos y en la reducción de la potencia contratada, el ahorro total en el año 2013 sería de **9.966 €**.

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Los cálculos se han realizado para suministrar el 100 % de la potencia necesaria, pero esto no suele ser la opción más eficaz, ya que, se deben

hacer un elevado número de metros de perforación, solamente, para dar servicio a unas pocas horas de temperaturas atmosféricas extremas.

Por ello, se realiza un estudio para calcular la potencia de instalación más eficiente para este tipo de instalación, suministrando la demanda restante con las máquinas de refrigeración existentes. De ese modo, se utiliza la geotermia conjuntamente con la instalación actual para lograr una mayor eficiencia.

Para calcular la potencia geotérmica más eficiente a instalar, se han realizado los cálculos para diferentes potencias de instalación.

Para conocer esta potencia de instalación, se realiza una gráfica donde se muestra la demanda energética del llagar en función de las horas de uso según las potencias utilizadas.

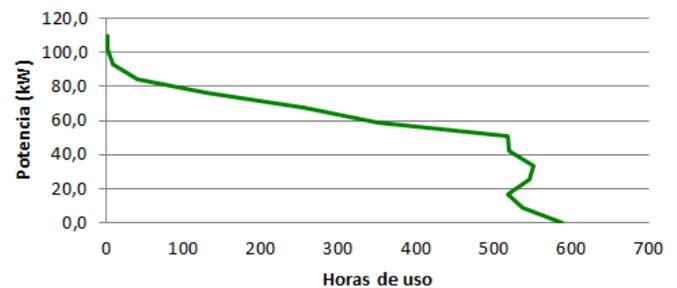


Figura 6. Curva de demanda energética del llagar.

En la tabla 6 se muestra la carga térmica, las "Bin hours" y se calcula el porcentaje de uso según las diferentes potencias a instalar.

Carga térmica	"Bin hours"	% uso
0,0	588	0,0
8,5	537	12,9
16,9	518	24,6
25,4	546	36,0
33,8	552	48,0
42,3	520	60,0
50,8	519	71,4
59,2	350	82,8
67,7	255	90,5
76,2	130	96,1
84,6	40	98,9
93,1	8	99,8
101,5	1	100,0
110,0	1	100,0

Tabla 6. Tabla de cálculo de porcentaje de uso de según la potencia instalada

Se observa que la potencia máxima solo es necesaria escasas horas al año, y que si se reduce la potencia instalada hasta valores de 75- 60 kW,



que supone el 68 – 55 % de la potencia máxima, el porcentaje de uso es superior al 83%.

Esto muestra que dimensionando la geotermia para una potencia menor de la potencia pico, podemos cubrir la mayor parte de la demanda, disminuyendo considerablemente el coste de la instalación, y utilizar el sistema de refrigeración actual para cubrir los picos de calor extremo.

Para conocer la potencia de instalación más eficiente, se estudia la evolución del ahorro obtenido por la geotermia a medida que disminuimos la potencia instalada. Donde se observa, la existencia de una primera fase donde los ahorros se mantienen constantes, y posteriormente disminuyen paulatinamente.

Para realizar estos cálculos, se ha considerado los siguientes valores reales cedidos por el Llagar:

Datos actuales		
Rendimiento de la maquina frigorífica actual		200%
Coste electricidad		
Periodo 1	11,4534	cent €/kWh
Periodo 2	9,1114	cent €/kWh
Periodo 3	7,0661	cent €/kWh

Tabla 7. Datos de la instalación actual suministrado por Sidra Menéndez

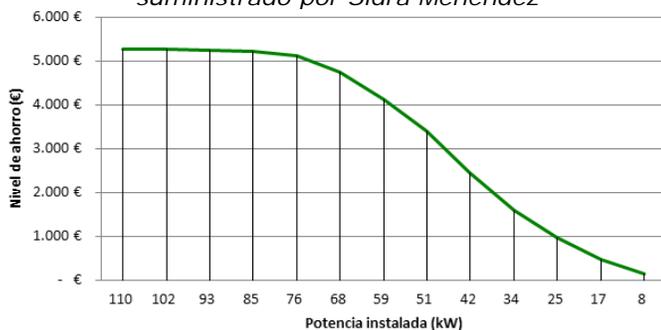


Figura 7. Muestra la curva de ahorro de la demanda energética según la potencia instalada.

A continuación se calcula el coste de instalación para cada potencia.

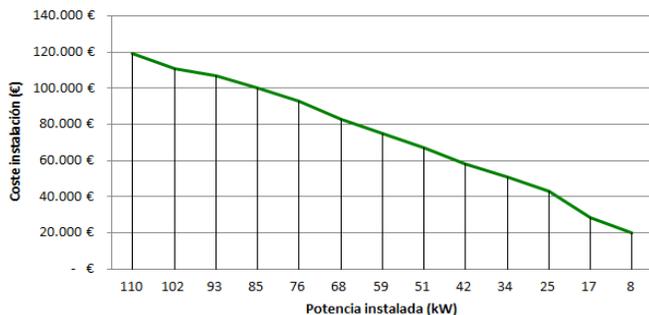


Figura 8. Costes de instalación según la potencia instalada, según las tarifas de Geoter

Potencia instalación	Coste económico
110 kW	119.090 €
102 kW	110.937 €
93 kW	107.137 €
85 kW	100.004 €
76 kW	93.092 €
68 kW	82.628 €
59 kW	75.023 €
51 kW	67.338 €
42 kW	57.905 €
34 kW	51.032 €
25 kW	42.896 €
17 kW	28.361 €
8 kW	20.214 €

Tabla 8. Presupuestos de diferentes potencias de instalación, según las tarifas de Geoter.

En la figura 9, se observa las curvas del coste acumulado durante 25 años para cada potencia estudiada, comparándolo con el coste acumulado del sistema actual (en azul).

Se observa que el periodo amortización para todas las potencias estudiadas es de 7 a 9 años, siendo el menor periodo de retorno el considerado para las potencias de instalación de 76 kw a 50 kW, que corresponden a una amortización en 7 años.

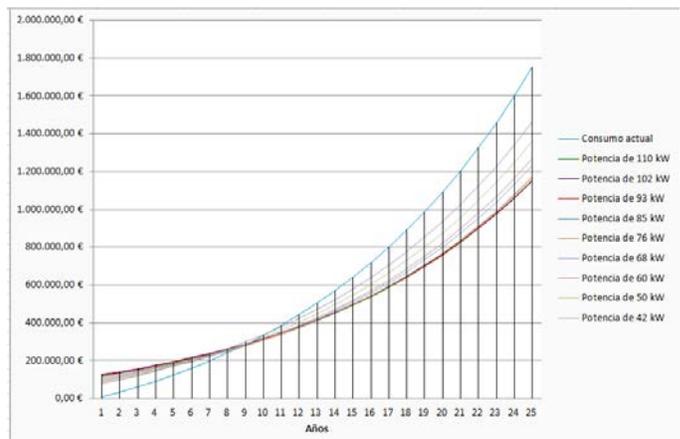


Figura 9. Comparación de costes acumulados de la instalación actual y las distintas potencias de instalación

En la figura 10 se muestra el periodo de amortización y los ahorros que se consiguen para las diferentes potencias estudiadas. Se observa, como el gráfico anterior, que los periodos de amortización más cortos corresponden a las potencias de 76 kw a 50 kW, pero una vez amortizada la instalación, el ahorro acumulado desciende considerablemente a medida de disminuye la potencia instalada.

De la misma manera que al disminuir la potencia de instalación de 50 kW el periodo de



amortización en vez de disminuir comienza a aumentar. Esto es debido a que los ahorros conseguidos gracias a la instalación de la geotermia, dejan de ser relevante en relación con el gasto necesario de la instalación de apoyo.

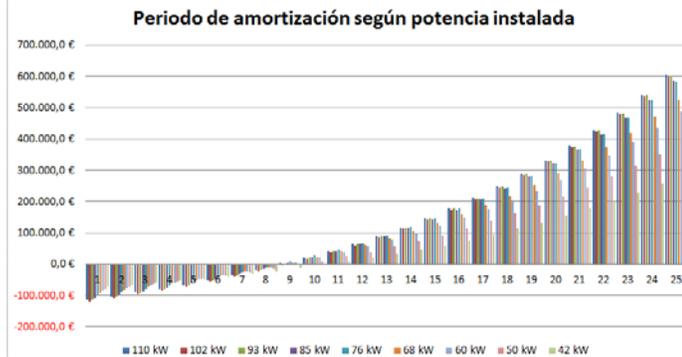


Figura 10. Periodo de amortización en años y ahorro económico según la potencia instalada

6. CONCLUSIONES

Ha quedado demostrado que para el almacenamiento de la sidra los rendimientos obtenidos por la bomba de calor geotérmica son muy elevados, muy por encima de los parámetros utilizados para climatizar los usos residenciales.

La geotermia, para este tipo de potencias, es conveniente combinarla con otro tipo de energía, debido al elevado coste de instalación que supondría cubrir puntuales picos de temperaturas atmosféricas extremas, y que conllevaría un periodo de amortización superior.

Por otro lado, este estudio se ha realizado con los datos facilitados por el Llagar Menéndez, ubicado sobre materiales geológicos de diversa índole, como pueden ser calizas, dolomías, arcillas, arenas y conglomerados. Para el estudio se ha supuesto el caso más desfavorable, realizando los cálculos de los metros de perforación considerando la arcilla como material geológico predominante.

Hay que destacar que la mayoría de los Llagares se sitúan sobre materiales pétreos como calizas y dolomías, con lo que los costes de instalación se reducirían considerablemente, amortizándose de ese modo en un plazo mucho más reducido.

También se pueden optar a ayudas en forma de subvenciones o financiaciones, concedidas por el Ministerio de Energía, por medio del IDAE, o por los Organismos Autonómicos correspondientes. Lo que, en el caso de las subvenciones, supone un periodo de amortización todavía más bajo, y en el caso de la financiación, permite realizar la

instalación geotérmica, y con los ahorros que se consiguen se sufraga la instalación geotérmica. Finalmente, se destaca la importancia de realizar un Test de Respuesta Térmica (TRT) [8, 14] que permita conocer las propiedades exactas de los materiales geológicos, para calcular de manera más precisa los metros necesarios de perforación. Del mismo modo, sería conveniente la realización de una auditoría energética, que permita conocer en detalle la potencia y demanda energética necesaria para el mantenimiento de la temperatura de la sidra.

7. REFERENCIAS

- [1]. 10 years VDI 4640 – German guidelines for ground coupled heat pumps, uses an direct thermal use of the underground. Año 2011
- [2]. Ecoforest. Fabricantes de Bombas de Calor geotérmicas.
- [3]. Enovicultura nº 26. Reportaje S. García. Marqués de Terán, innovación sostenible al servicio de la calidad. Año 2014
- [4]. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Guía de la Energía Geotermia. Año 2008.
- [5]. Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid. Guía Técnica de Bombas de Calor Geotérmicas. de la Energía Geotermia. Año 2009.
- [6]. Geo3. Geotermia, geología y geotecnia. Ingeniería y consultoría energética
- [7]. Geoter Geothermal Energy. Ingeniería energética especialista en sistemas geotérmicos
- [8]. GUSTAFSSON, A.M. (2006): "Thermal Response Test. Numerical simulations and analyses". Luleå University of Technology, PhD Tesis-pag.141.
- [9]. IGME. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000 (MAGNA), de Oviedo, número 29.
- [10]. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Estudio Técnico PER 2011-2020. Evaluación del potencial de energía geotermia. Año 2010
- [11]. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Guía técnica: Diseño de



sistemas de bomba de calor geotérmica.
Año 2010.

- [12]. J. Fernández-Seara, R. Diz, F.J. Uhía, C. Piñeiro, J.A. Dopazo. Análisis experimental del comportamiento de una bomba de calor geotérmica. Geener. II Congreso de Energía Geotermica en la Edificación y la Industria. Año 2012.
- [13]. José Ángel Iglesias Peña. Proyecto de climatización mediante geotermia de la R.C.D. "El Collado". Anejo 04 Cálculo del factor de utilización y Anejo 05 Cálculo de Potencia y Energía. Año 2103
- [14]. SANNER, B., KARYTSAS, C., MENDRINOS, D. & RYBACH, L. (2003): "Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe". Geothermics, Vol. 32, Issues 4-6, Pag. 579-588.