

UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Máster Oficial en Eficiencia Energética



Trabajo de Fin de Máster

Calentamiento y Refrigeración Urbana Mediante Geotermia en Meloneras

Luis Casañas Salgado

Tutores:

Dr. D. Alejandro Ramos Martín

D. Vicente Henríquez Concepción

Fecha: 2 de diciembre de 2016

Me gustaría dedicar este trabajo a mi tío, Elías Casañas, por la ayuda que me ha prestado durante su elaboración, por sus inestimables consejos, y por los conocimientos con que, día a día, incansablemente, nos brinda a los que le rodeamos.

Agradecimientos

Previo a continuar con este trabajo de final de máster, me gustaría darle las gracias a mis padres y hermanos, por su ayuda y sustento durante estos inicios de mi carrera como ingeniero. También quiero agradecerle el apoyo a mi pareja, Silvia, que siempre ha sabido cómo hacerme mantener una actitud positiva ante las adversidades que surgían a lo largo de la elaboración de este documento.

Por supuesto, agradecerle el tiempo y la voluntad que han empleado mis tutores, Alejandro Ramos y Vicente Gómez, en este trabajo, aconsejándome y guiándome en esta primera experiencia en la investigación.

Por último, me gustaría agradecer a todos aquellos amigos, colegas y compañeros que han colaborado en este proyecto.

Resumen

El ritmo al que se está contaminando la atmósfera, y al que se consumen los recursos energéticos primarios de origen fósil en la actualidad es insostenible. Esto conlleva que la población se encuentre en constante búsqueda de métodos y estrategias innovadoras, que logren disminuir el consumo de recursos no renovables, y, consecuentemente, la contaminación atmosférica.

La alta demanda turística de las Islas Canarias implica que una gran parte de la energía generada sea consumida por el sector residencial. Consecuentemente, disminuir el consumo energético de este sector implica un importante cambio en el consumo energético total de las Islas.

La geotermia de baja entalpía se presenta como una alternativa innovadora a los actuales sistemas de generación de calor y frío en el sector terciario. En el presente estudio se pretende comparar el consumo energético de las tecnologías utilizadas en la actualidad, con aquel del sistema de aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía de circuito abierto. Para ello, se analiza el consumo concreto de una instalación centralizada que cubre las demandas de calor y de frío de cinco hoteles situados en el sur de la isla de Gran Canaria, en la zona de Meloneras.

Abstract

The pace at which the atmosphere is being polluted, and the fossil primary energy resources are being consumed nowadays is untenable. This has forced the population to constantly search for innovative methods and strategies, that are capable of diminishing the rate at which non-renewable resources are consumed, and, consequently, diminishing the atmospheric pollution.

As the Canary Islands are actually highly demanded by tourists, a large part of the energy generation is being used up by the residential sector. Therefore, reducing the energy consumption within this sector implies an important change on the Islands' total energy consumption.

Low enthalpy geothermal energy comes up as an innovative alternative to the actual HVAC systems within the third sector. The present study aims to compare the energy consumption of the actual technologies with that of an open loop ground-source heat pump. In order to achieve this, an analysis is carried out, relative to the energy consumption of a centralized heating and cooling plant that supplies the energy demands of five hotels located in the south of Gran Canaria, within the area of Meloneras.

Contenido

1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
2.1. Datos de Partida	3
2.1.1. Emplazamiento.....	3
2.1.2. Datos de los hoteles.....	5
2.2. Estado del arte - generación de calor	6
2.2.1. La Caldera Eléctrica	6
2.2.2. La Caldera de Combustible Fósil	7
2.2.3. La Caldera de Biomasa	8
2.2.4. La Bomba de Calor	9
2.3. Estado del arte - generación de frío	10
2.3.1. La Planta Enfriadora o Bomba de Calor	10
2.4. El Sistema Geotérmico de Baja Entalpía.....	12
2.4.1. Sistemas Centralizados con Aprovechamiento Geotérmico.....	17
2.5. La Instalación Propuesta	18
2.6. Normativa de Aplicación	18
3. Metodología	23
3.1. Cálculos de la Demanda de Calor.....	23
3.1.1. Cálculo de la Demanda de ACS.....	23
3.1.2. Cálculo de la Demanda de Piscinas.....	24
3.2. Cálculos de la Demanda de Frío	29
3.3. Sistema Centralizado Geotérmico.....	32
3.4. Rendimiento de los Sistemas de Generación	37
3.4.1. El Sistema Convencional	37
3.4.2. El Sistema Geotérmico.....	38
4. Resultados	41
4.1. Resultados de la Demanda de Calor	41
4.1.1. Resultados Demanda ACS	41
4.1.2. Resultados de la Demanda Energética de las Piscinas	43
4.2. Resultados de la Demanda de Refrigeración	47
4.3. Resultados del Sistema Centralizado Geotérmico	50
4.4. Comparativa de Consumo Energético entre Sistemas de Generación	55
4.4.1. Instalaciones Convencionales.....	55

4.4.2.	Instalación Geotérmica.....	57
4.4.3.	Comparativa entre los Sistemas	58
4.5.	Comparativa Económica y de Huella Ecológica	60
4.5.1.	Comparativa Económica	60
4.5.2.	Comparativa de Emisiones.....	62
5.	Estudio Económico	65
5.1.	Inversión Inicial	65
5.2.	Rentabilidad de la Instalación.....	66
6.	Conclusión	69
	Bibliografía.....	1
	Anexo	3

Índice de Figuras

Figura	Título	Página
Figura 2.1	Zona seleccionada para la implementación del sistema centralizado geotérmico de generación de frío y de calor.	5
Figura 2.2	Flujo de calor en un ciclo termodinámico.	11
Figura 2.3	Principio de funcionamiento del ciclo termodinámico.	11
Figura 2.4	Evolución de la temperatura del suelo.	12
Figura 2.5	Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera.	14
Figura 2.6	Mapa de potencia térmica superficial de las Islas Canarias.	15
Figura 2.7	Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el verano.	16
Figura 2.8	Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el invierno.	17
Figura 2.9	Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el entretiempo.	17
Figura 3.1	Variación de los coeficientes de convección (h_{cv}) y de evaporación (h_{ev}) con respecto a la velocidad del viento.	25
Figura 4.1	Demanda energética asociada con el consumo de ACS de los cinco hoteles.	41
Figura 4.2	Pérdidas y ganancias energéticas de la piscina número 1 del hotel Lopesan Baobab.	43
Figura 4.3	Demanda energética relacionada con la climatización de las piscinas de los cinco hoteles.	44
Figura 4.4	Demanda energética de refrigeración y energía aportada a la instalación con respecto al mes.	48
Figura 4.5	Demanda de ACS, demanda de piscinas, Demanda de calor total y Calor residual disponible de la instalación centralizada.	49
Figura 4.6	Consumos energéticos de refrigeración del sistema convencional y geotérmico.	56
Figura 4.7	Consumos energéticos de calor del sistema geotérmico y los sistemas convencionales.	56
Figura 4.8	Consumos energéticos totales del sistema geotérmico y los sistemas convencionales.	57
Figura 4.9	Rendimiento de la generación energética del sistema geotérmico y de los sistemas convencionales.	57
Figura 4.10	Costes operacionales asociados a cada sistema de generación.	60
Figura 4.11	Emisiones de CO ₂ asociados a cada sistema de generación.	61
Figura 5.1	VAN de la sustitución de los sistemas convencionales estudiados por el sistema geotérmico.	64

Índice de Tablas

Tabla	Título	Página
Tabla 2.1	Superficie total de las piscinas y número de habitaciones de cada hotel.	5
Tabla 2.2	Poder Calorífico Inferior y Superior (PCI y PCS respectivamente) de algunos combustibles de origen fósil (Biblioteca Universidad Nacional del Sur).	9
Tabla 2.3	Poder Calorífico Superior de algunos biocombustibles utilizados en las calderas de biomasa (Biblioteca Universidad Nacional del Sur).	10
Tabla 3.1	Datos de las piscinas de los cinco hoteles.	25
Tabla 3.2	Datos meteorológicos para el emplazamiento.	25
Tabla 3.3	Carga parcial, horas de funcionamiento y EER de la bomba de calor aerotérmica del estudio, TRANE RTAF.	30
Tabla 3.4	Carga parcial, horas de funcionamiento y EER de la bomba de calor geotérmica del estudio, TRANE RTWD.	31
Tabla 3.5	Cálculo de la carga parcial media anual de la bomba de calor.	31
Tabla 3.6	Carga parcial media mensual de la bomba de calor estudiada.	32
Tabla 3.7	Sistemas de generación convencionales y sus rendimientos.	39
Tabla 3.8	Temperaturas de evaporación y rendimiento correspondiente de cada BCAT.	40
Tabla 4.1	Cálculos de la demanda energética asociada con el consumo de ACS del hotel Baobab.	41
Tabla 4.2	Cálculos de la demanda energética asociada con el consumo de ACS.	42
Tabla 4.3	Pérdidas y ganancias energéticas de la piscina número 1 del hotel Lopesan Baobab.	43
Tabla 4.4	Pérdidas de las piscinas de hoteles individualmente y totalizada.	45
Tabla 4.5	Datos de la potencia de refrigeración de diversas instalaciones existentes.	47
Tabla 4.6	Datos de las potencias de refrigeración propuestas de los cinco hoteles.	48
Tabla 4.7	Datos partida para el cálculo de la demanda energética de refrigeración.	48
Tabla 4.8	Perfil de demanda de la instalación.	49
Tabla 4.9	Perfil de demanda de refrigeración de la instalación.	49
Tabla 4.10	Recuperación del calor residual generado por la instalación (el mes 1 corresponde a enero).	52
Tabla 4.11	Distribución de la recuperación del calor residual generado por la instalación.	53
Tabla 4.12	Energía requerida para la producción de ACS asociada a cada etapa.	53
Tabla 4.13	Métodos empleados para cubrir la demanda de ACS y su fuente de energía primaria.	54
Tabla 4.14	Demanda de calor de piscinas, y energía suministrada.	54
Tabla 4.15	Métodos empleados para cubrir la demanda de piscinas y su fuente de energía primaria.	55
Tabla 4.16	Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de frío para las instalaciones convencionales.	55
Tabla 4.17	Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 1 de los convencionales.	56
Tabla 4.18	Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 2 de los convencionales.	56
Tabla 4.19	Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 3 de los convencionales.	57
Tabla 4.20	Consumo eléctrico anual en la generación de frío para la instalación geotérmica.	57

Tabla 4.21	Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema Geotérmico.	57
Tabla 4.22	Costes operacionales y emisiones de CO ₂ del sistema convencional 1.	60
Tabla 4.23	Costes operacionales y emisiones de CO ₂ del sistema convencional 2.	61
Tabla 4.24	Costes operacionales y emisiones de CO ₂ del sistema convencional 3.	61
Tabla 4.25	Costes operacionales y emisiones de CO ₂ del sistema geotérmico.	61
Tabla 4.26	Ahorros asociados a los costes operacionales y emisiones de CO ₂ del sistema geotérmico.	62
Tabla 5.1	Presupuesto alzado de instalación geotérmica.	65

1. Introducción

La problemática a nivel mundial del abastecimiento energético de los núcleos urbanos cada vez toma más protagonismo en nuestro día a día. Gradualmente, los recursos energéticos provenientes de combustibles fósiles se van agotando, y, además, su consumo contribuye a la contaminación de la atmósfera. Por ello, son cada vez más las personas y empresas que tratan de sumarse al cambio, y sustituir los recursos energéticos convencionales, por otros renovables, y con un menor grado de alteración sobre el medio ambiente.

Este estudio se presenta como una aportación al conocimiento existente relacionado con la explotación controlada de los recursos energéticos renovables, y en particular el recurso de la energía geotérmica. Al centrarse el estudio en los recursos de las Islas Canarias, se adapta la clase de aprovechamiento geotérmico a la de muy baja entalpía, pues esta es la fuente más abundante en las islas. También, dado que la principal fuente de riqueza de las islas proviene del turismo, se trata de dar un enfoque orientado hacia las instalaciones hoteleras. Concretamente, se selecciona como base para el estudio la zona hotelera de Meloneras, situada al sur de la isla de Gran Canaria, contemplándose cinco hoteles, todos ellos contando con un elevado número de habitaciones, con piscinas climatizadas, así como con servicio de aire acondicionado.

El aprovechamiento de la energía geotérmica de muy baja entalpía se lleva a cabo mediante el empleo de bombas de calor geotérmicas. Una bomba de calor geotérmica (BCG) es una tecnología que puede aumentar drásticamente la eficiencia energética de los hogares [1]. Haciendo uso de la relativamente constante temperatura de la tierra como una fuente o un sumidero de calor, la BCG es capaz de proporcionar calefacción, aire acondicionado, y agua caliente sanitaria. A pesar de que las BCG conllevan unos costes iniciales relativamente altos, son capaces de entregar entre tres y cinco veces la energía que consumen en energía térmica al punto de consumo final [2-4].

El objetivo principal es el de estudiar las diferentes metodologías de generación energética actualmente presentes en la mayoría de hoteles de la zona, y compararlas con una metodología innovadora a nivel de las Islas Canarias, como es la del aprovechamiento geotérmico. Para ello, se investiga acerca de los métodos de generación tradicionales, comentando sus principios de funcionamiento, así como sus ventajas y desventajas. Seguidamente, se estudia el método propuesto, con sus diferentes variantes, y se selecciona la variante que se cree más apropiada para la explotación del recurso disponible en las islas. Esta variante se trata de la extracción de energía geotérmica por medio de pozos someros en la costa, que contienen principalmente agua salada proveniente del mar.

Una vez estudiados los sistemas principales de generación, se procede a comentar la metodología aplicada para el cálculo de las demandas energéticas tanto de calor como de refrigeración de cada hotel individualmente, así como de la totalidad de ellos. La demanda de calor se conforma por la producción del agua caliente sanitaria, y por la climatización de las piscinas, sumando un total de 39.962.199 kWh/año. Por otro lado, la demanda de refrigeración se corresponde con el aire acondicionado de las zonas comunes y de la totalidad de las habitaciones, requiriendo 35.757.478 kWh/año.

Dado que la instalación se plantea para abastecer diversos hoteles desde un mismo punto central, se comenta sobre el efecto que tiene esta centralización sobre los valores de demanda energética tanto de calor como de refrigeración. Este efecto disminuye notablemente la potencia pico requerida por la instalación, también así disminuyendo su coste inicial.

Tras implementar la metodología seleccionada sobre los datos de partida existentes, se obtienen valores comparativos entre los diferentes tipos de instalación tradicionales y la instalación geotérmica propuesta. Hablando de ahorros energéticos, la instalación propuesta reduce el consumo hasta en 22.796.246 kWh/año. A la reducción en el consumo energético le sigue una notable disminución en cuanto a las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, alcanzando valores de hasta 7.511 T de CO₂/año. Por último, a nivel económico, los ahorros estimados ascienden a los 2.744.650 € anuales, una cifra nada despreciable.

2. Antecedentes

Antes de comenzar a explicar la metodología empleada para el análisis de los consumos, se estima oportuno realizar un breve comentario sobre los antecedentes al proyecto, es decir, todo aquello conocido y relevante para el estudio en cuestión. Para ello, se definen los datos con los que se parte en este estudio, así como se comenta sobre la instalación propuesta. Además, se estudia el estado del arte en cuanto a la generación de calor y de frío en instalaciones hoteleras se refiere.

2.1. Datos de Partida

Con el fin de poner en contexto al lector, se exponen los principales parámetros con los que se parte en este estudio.

Como se menciona anteriormente, el presente estudio tiene como finalidad principal la de analizar el consumo energético de una instalación geotérmica centralizada en la isla de Gran Canaria, y comparar dicho consumo con aquellos correspondientes a diversas de las instalaciones típicas instaladas en los hoteles de las islas a día de hoy. Para dar comienzo a los cálculos pertinentes, es primordial conocer los parámetros que restringen y dan forma a la instalación.

Para hacer el estudio más concreto, se investiga acerca del consumo energético de una instalación particular, y se compara el consumo energético de esta instalación con diferentes métodos de generación de frío y de calor. Por tanto, se estudian los sistemas de generación siguientes, diferenciados entre aquellos destinados a la generación de calor y de frío:

Generadores de Calor

- Caldera de Gas Propano
- Caldera Eléctrica
- Caldera de Biomasa
- Bomba de Calor Geotérmica

Generación de Frío

- Planta Enfriadora Aerotérmica
- Bomba de Calor Geotérmica

Por una parte, se analizan aquellos parámetros que están relacionados con el consumo energético para la generación de frío, esto es para el aire acondicionado de habitaciones y de zonas comunes de los hoteles. Por otra, se procede a analizar los requerimientos desde el punto de vista de la generación de calor, esto es, la climatización de piscinas, así como la producción del agua caliente sanitaria.

Es importante recalcar que los resultados obtenidos en este documento son meras estimaciones. El objetivo de este estudio no es el de presentar un método de fiable para el cálculo de la demanda energética de un hotel, sino el de comparar el consumo de distintas instalaciones al cubrir dicha demanda.

2.1.1. Emplazamiento

La selección de la localización más adecuada para la instalación se realiza en base a diferentes parámetros. Dado que se pretende estudiar una instalación centralizada, la presencia de varios hoteles en un rango de distancia relativamente corto es imprescindible. Además, con el

objetivo de realizar un estudio completo, se requiere que los hoteles a los que la instalación abastezca cuenten con un número mínimo de habitaciones, con varias piscinas, y que ofrezcan el servicio de aire acondicionado tanto en zonas comunes como en sus habitaciones. Por último, el emplazamiento debe situarse en zona costera, con una distancia máxima al litoral de unos 200m, de esta manera cerciorando que la extracción de agua marina mediante pozos sea viable.

Atendiendo a lo anterior, se toman en consideración tres principales localizaciones, siendo estas:

- Zona del puerto de Las Palmas de Gran Canaria
- Zona de Playa del Inglés
- Zona de Meloneras

La primera de las zonas dispone de una distancia a la costa inferior a los 200m en la mayoría de sus puntos y tiene una densidad de hoteles relativamente alta. No obstante, la mayoría de los hoteles de esta zona no disponen de piscina, dada su cercanía a la playa, por lo que queda descartada como opción.

Por otra parte, la zona de Playa del Inglés, en el sur de la isla de Gran Canaria, tiene la mayor de las densidades hoteleras de entre las tres zonas preseleccionadas. Además, la mayoría de los hoteles existentes ofrecen un buen número de habitaciones, así como los servicios de piscina y aire acondicionado. Por el contrario, dado el alto grado de abrupsión de esta zona, resulta improbable que se pueda acceder al agua marina con facilidad, por lo que, al igual que la primera zona, queda descartada.

Por último, se estudia la zona de Meloneras, también situada en el sur de la isla de Gran Canaria. Esta zona, a diferencia de las dos anteriores, cumple con todos los diferentes requisitos previstos. Existen numerosos hoteles en la zona, con una distancia de separación entre ellos relativamente corta. Todos cuentan con un alto grado de ocupación, además de ofrecer los servicios de piscinas y de aire acondicionado. La separación de los hoteles de esta zona con respecto al mar es bastante corta, y dispone de diversos espacios donde emplazar la sala con la maquinaria pertinente. Por todo lo anterior, se escoge como punto de emplazamiento el de la zona de Meloneras.

Una vez seleccionada la zona, se procede a la selección de los hoteles particulares a los que la instalación cubrirá con agua caliente y fría. Para ello, se escogen cinco hoteles -número que da lugar a variedad en el estudio, pero que no complica los cálculos demasiado- situados cerca entre sí.



Figura 2.1. Zona seleccionada para la implementación del sistema centralizado geotérmico de generación de frío y de calor (Grafcan Visor).

La figura 2.1 muestra una vista aérea de la zona. Al analizar la figura en busca de cinco hoteles que cumplan todos los requisitos, se concluye en que los hoteles idóneos para la implementación de la instalación geotérmica centralizada, tal y como se indica en la figura anterior, son los siguientes:

- Hotel LOPESAN Costa Meloneras
- Hotel LOPESAN Baobab
- Hotel LOPESAN Villa del Conde
- Hotel RIU Gran Canaria
- Hotel RIU Palace Meloneras.

Además, marcada, se encuentra la localización designada para el emplazamiento de la central de generación geotérmica. Se selecciona este lugar al estar situado de manera centrada entre las cinco instalaciones a abastecer.

2.1.2. Datos de los hoteles

Los datos de partida que era necesario recabar, incluyen dos parámetros principales, que se corresponden con el número de habitaciones de cada hotel, y la superficie total de sus piscinas. La tabla 2.1 resume algunos de los datos con los que se parte en este estudio.

Tabla 2.1. Superficie total de las piscinas y número de habitaciones de cada hotel.

Cadena	Nombre	S. piscinas (m ²)	Nº habitaciones
LOPESAN	Villa del Conde	2467	561

LOPESAN	Costa Meloneras	6348	1136
LOPESAN	Baobab	4878	677
RIU	Gran Canaria	919	639
RIU	Palace Meloneras	870	515

Otros datos de parámetros de partida complementarios, como las características termodinámicas del agua, así como las temperaturas de agua de red y de suministro, o la ocupación media de cada hotel se muestran posteriormente en este estudio.

2.2. Estado del arte - generación de calor

Cualquier instalación hotelera, independientemente del número de habitaciones que posea, requiere una instalación de generación de calor. Como mínimo, esta instalación debe suplir las necesidades energéticas de producción de agua caliente sanitaria del hotel, de manera que todos los clientes tengan acceso a la misma en cualquier momento del día. Además, una instalación de generación de calor puede abastecer otras necesidades suplementarias, como puede ser la climatización de piscinas, o la calefacción de las habitaciones y zonas comunes. Dado que el emplazamiento de este estudio se encuentra en una zona con inviernos relativamente cálidos, no se estudiarán los sistemas de generación de calor para la calefacción de espacios.

Con el fin de poner al lector en situación, este capítulo comenta los sistemas de generación de calor que son típicamente instalados en los hoteles de la zona de emplazamiento designada, así como discute sus inconvenientes y aplicabilidad. Estas distintas tipologías de instalaciones serán posteriormente evaluadas y comparadas con el sistema centralizado geotérmico propuesto.

2.2.1. La Caldera Eléctrica

Principio de Funcionamiento

La preparación de agua caliente sanitaria (de aquí en adelante ACS) mediante el uso de la caldera eléctrica radica en el principio de funcionamiento del efecto Joule. Esto es, al hacer pasar una corriente eléctrica a través de un conductor, una parte de la energía que llevan los electrones se transformará en calor. Este calor puede ser aprovechado para subirle la temperatura a un fluido.

En la caldera eléctrica, por tanto, se hace uso de un bobinado de cobre por el que se hace fluir la corriente eléctrica. Este bobinado se calienta hasta una cierta temperatura, en función de dos variables, estas siendo, por una parte, la corriente que pasa a través del bobinado, y por otra, el grosor del mismo. Cuanto mayor sean tanto la corriente eléctrica como el grosor de la bobina, mayor será la temperatura alcanzada, ya que la resistencia que encuentran los electrones a su paso aumentará.

Características

Como objeto de este estudio, se analizan primordialmente aquellas características que involucren la eficiencia energética de la caldera.

El efecto Joule, principio fundamental estos tipos de calentadores, tiene la característica de transformar el 100% de la energía eléctrica que fluye a través de la bobina en energía calorífica. Esto quiere decir que cada kWh eléctrico inyectado en la caldera se transformará en 1 kWh térmico, cedido al fluido que rodea la bobina.

Inconvenientes

Siempre que una corriente eléctrica se pasa a través de un metal sumergido en agua, se crea una diferencia de potencial entre dos metales diferentes, debido a la electrólisis. Al crearse un cátodo y un ánodo, algunos componentes del termo tenderán a oxidarse. Para evitar este proceso de corrosión, será necesario agregar al sistema un ánodo de sacrificio, normalmente hecho de Magnesio, y que sustituye a los propios componentes del termo como ánodo.

Aplicabilidad

Debido a su relativamente baja eficiencia, en comparación con otros métodos de calentamiento, suele utilizarse en instalaciones pequeñas o descentralizadas, en las que el caudal de ACS demandado no sea muy grande. Esto conlleva que, en los hoteles no suela implementarse, a excepción de algunos complejos de apartamentos que utilicen un calentador eléctrico para cada apartamento. Por ello, no formará parte de los sistemas estudiados en las siguientes secciones.

2.2.2. La Caldera de Combustible Fósil

Principio de Funcionamiento

En este apartado coexisten las calderas alimentadas por gases como el gas natural, el butano o el propano, y las alimentadas por combustibles líquidos, como el gasoil, todos ellos teniendo la característica de provenir de fuentes de fósiles.

Estas calderas hacen uso del gran poder calorífico contenido en los combustibles fósiles para, a través de una reacción exotérmica de combustión, elevar la temperatura de un cierto fluido. La tabla 2.2 resume los poderes caloríficos superior e inferior de varios combustibles fósiles.

Tabla 2.2. Poder Calorífico Inferior y Superior (PCI y PCS respectivamente) de algunos combustibles de origen fósil (Biblioteca Universidad Nacional del Sur).

Combustible	PCI	PCS
	kJ/kg	kJ/kg
Gas Natural	39900	44000
Propano	46350	50450
Butano	45790	49675
Fuel-oil	40600	42695
Gasóleo	42275	43115
Gasolina	43950	46885
Cabrón	29300	33700

El principio de funcionamiento de la caldera se basa en la pulverización del fluido combustible, haciéndolo pasar a través de una llama que lo inflama. La reacción involucrada desprende tanto calor como el poder calorífico del fluido quemado; el calor es pasado al aire, y este aire se hace fluir a través de un intercambiador de calor aire-agua. De esta manera, se consigue preparar el ACS.

Características

La eficiencia de estas calderas depende de varios factores, primeramente, el tipo de combustible utilizado, esto es, el estado en que se encuentra –siempre los fluidos en estado gaseoso reaccionan con mayor voracidad que aquellos en estado líquido. Por otra parte, cada combustible tiene un poder calorífico distinto; a mayor poder calorífico, mayor es la energía desprendida durante su combustión. Otro factor muy importante al evaluar la eficiencia energética de una caldera de combustión es hasta qué punto se aprovecha el calor desprendido durante la reacción. El mayor rendimiento se obtiene cuando a los gases de escape se les roba calor hasta el punto de condensarlos, siempre teniendo en cuenta el contenido en azufre de los gases, ya que, al condensarse forman ácido sulfúrico en combinación con agua, y pueden corroer la caldera.

Inconvenientes

Como es obvio, estas calderas hacen uso de fuentes de energía convencionales, es decir, no renovables. Esto conlleva, entre otros aspectos, una reducción de las reservas de combustible fósiles existentes. Además, uno de los productos de la reacción de combustión es el anhídrido carbónico, principal causante del efecto invernadero.

Aplicabilidad

De la misma manera que las calderas eléctricas, el rendimiento de estas calderas suele estar en torno al 95% [5], a veces incluso superándolo. No obstante, y dado que los combustibles fósiles son una fuente de energía primaria, y no un vector energético como lo es la electricidad, el precio de los combustibles es inferior a aquel de la electricidad. Esto conlleva que la mayoría de las instalaciones hoteleras hoy en día hagan uso de este tipo de caldera como elemento de preparación del ACS.

2.2.3. La Caldera de Biomasa

Principio de funcionamiento

Al igual que las calderas descritas en el apartado anterior, este tipo de caldera se basa en la combustión de un fósil para aprovechar su poder calorífico. La diferencia entre ambos tipos de combustión radica en que, en esta, el combustible se encuentra en estado sólido.

El hecho de que el combustible sea un sólido conlleva que el mecanismo de introducción del mismo a la caldera sea mediante un tornillo sinfín, alimentado desde un silo. Además de esto, las calderas de biomasa requieren de un elemento de recogida de inquemados, normalmente tratándose simplemente de una bandeja en la parte inferior de la cámara de combustión.

Características

Normalmente se trata de rendimientos energéticos inferiores a aquellos de las calderas de combustión convencionales, dado que los sólidos no son pulverizables y por tanto siempre se generan inquemados. También, el combustible es clasificado según su contenido en humedad, así como según su poder calorífico, tal y como se aprecia en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Poder Calorífico Superior de algunos biocombustibles utilizados en las calderas de biomasa (Biblioteca Universidad Nacional del Sur).

Combustible	PCS
	kJ/kg
Orujo de uva	19126

Cáscara de almendras	36800
Celulosa	16500
Madera seca	19000
Viruta seca	13400

A pesar del menor rendimiento que ofrece esta caldera, medioambientalmente se trata de una energía no contaminante y 100% renovable, debido a que, por cada árbol o planta que se tala para ser utilizado como combustible, se planta otro igual, que absorba el anhídrido carbónico que haya sido expulsado a la atmósfera previamente.

Inconvenientes

A pesar de que el principio de funcionamiento de esta caldera lleva muchos años en práctica, el precio de las calderas y sobretodo del combustible sigue aún siendo elevado, ya que normalmente conlleva un proceso de preparación. Además, necesita de un espacio relativamente grande para la colocación del silo donde guardar las reservas de combustible.

Otro inconveniente de esta tecnología radica en que genera una gran cantidad de residuos, que se depositan en la bandeja recolectora y que suelen dispersarse en el aire. Es por ello que se requieren salas específicas para este tipo de caldera.

Aplicabilidad

Suelen utilizarse en hoteles grandes en los que la demanda de calor sea importante, ya que requieren de una alta inversión inicial, no siendo rentable a pequeña escala. A pesar de tener un coste más elevado que el de las calderas convencionales, en los últimos años se apuesta cada vez más por la biomasa, ya que su instalación suele venir subvencionada por diversos organismos.

2.2.4. La Bomba de Calor

Principio de funcionamiento

Tal y como se especifica en el apartado 1 de la segunda sección de este estudio, la bomba de calor no transforma energía entre distintos tipos; únicamente mueve, o ‘bombea’ la energía calorífica de un punto al otro. En este caso, el interés se centra en usar esta máquina para la generación de calor, y no en la generación de frío.

Características

Este tipo de máquina se caracteriza por tener unos rendimientos muy por encima de los sistemas de generación de calor mencionados con anterioridad, aunque dicho rendimiento puede variar notablemente a causa de factores como la climatología o el estado de manutención de la bomba de calor.

La proporción de energía aprovechable frente al consumo eléctrico de una bomba de calor a unas dadas condiciones de operación se define como el “Coeficiente de Operación” o COP, por sus siglas en inglés.

Por otra parte, su rendimiento depende de cómo interactúa esta con el medio ambiente, es decir, si intercambia energía con el aire, o si intercambia energía con otro medio como puede ser el agua o el terreno.

Por tanto, el rango dentro del que puede variar el COP de una bomba de calor puede situarse entre 1,5 en el caso de aquellas aerotérmicas y con un alto grado de desgaste, hasta 8, si se trata de una máquina geotérmica de reciente fabricación.

Inconvenientes

El principal inconveniente de este tipo de generación de calor radica en su dependencia de las condiciones meteorológicas dadas en el lugar de implementación (en el caso de las bombas de calor aerotérmicas). Además, al estar expuestas al ambiente exterior, sufren un mayor desgaste y corrosión.

Aplicabilidad

Pueden ser aplicadas en cualquier tipo de instalación hotelera, ya sea de pequeño o de gran tamaño, ya que el rango que existe en cuanto a su potencia es considerablemente amplio. Dadas las relativamente moderadas características del clima de las Islas Canarias, este tipo de solución es frecuentemente seleccionado.

2.3. Estado del arte - generación de frío

La gran mayoría de los complejos hoteleros de una cierta capacidad de huéspedes cuenta con un sistema de acondicionamiento del aire, que no sólo renueva el aire del hotel, sino que modifica su temperatura para crear sensación de bienestar térmico en su interior. En este apartado se habla sobre los métodos empleados en la actualidad para la generación de agua fría, empleada en el acondicionamiento del aire.

2.3.1. La Planta Enfriadora o Bomba de Calor

Principio de funcionamiento

La planta enfriadora, o bomba de calor, es un sistema que tiene como principio de funcionamiento el de bombear calor en contra de un gradiente de temperatura.

En la naturaleza, existen una infinidad de procesos que conllevan un intercambio de temperatura, y, por tanto, un gradiente de temperatura. Un ejemplo sencillo podría ser el de la incidencia de la radiación solar sobre la tierra. Cuando sale el sol, a primera hora de la mañana, este irradia calor sobre la superficie terrestre, lo que hace que su temperatura se eleve. En este momento, se encuentra un gradiente de temperatura en la tierra, ya que la capa más superficial de la misma se encuentra a una temperatura superior que las capas inferiores, que no perciben la radiación solar. De forma natural, este gradiente de temperatura conlleva que la energía calorífica viaje desde el foco más caliente (la capa superior de la tierra) hacia el foco más frío (las capas inferiores de la tierra), siempre en busca de un equilibrio de temperaturas.

No obstante, no siempre se desea que el calor viaje en ese sentido. Por ejemplo, lo natural sería que el calor del aire que rodea una nevera viajara hacia su interior, donde hace más frío. Sin embargo, esto conllevaría que la temperatura del interior de la nevera aumentase, por lo que los alimentos se echarían a perder. En este caso, se requiere que el calor viaje desde el foco frío (el interior de la nevera) hacia el foco caliente (el aire que la rodea). La figura 2.2 ilustra el flujo de calor inicial, Q_F , que, unido al trabajo realizado, W , se convierte en el calor final, Q_C , que se le transmite al foco caliente.

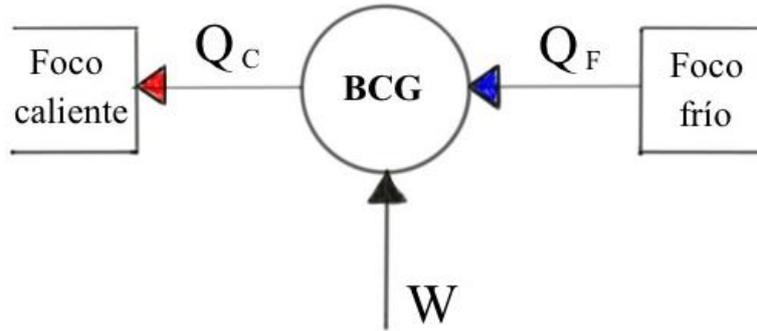


Figura 2.2. Flujo de calor en un ciclo termodinámico (elaboración propia).

Este fenómeno es el que consigue generar una planta enfriadora, mediante un ciclo termodinámico. Son cuatro los principales componentes de la planta enfriadora: la válvula de expansión, el evaporador, el compresor y el condensador. El evaporador se sitúa en el foco frío, al que se le desea robar calor. A este calor se le sube la temperatura con el compresor, y es transmitido por medio de un fluido caloportador hacia el foco caliente, donde el calor robado se cede en el condensador. Posteriormente, la temperatura del fluido caloportador vuelve a ser reducida con la válvula de expansión, y pasa de nuevo por el evaporador para cerrar el ciclo. La figura 2.3 muestra un ciclo termodinámico con sus cuatro componentes principales.

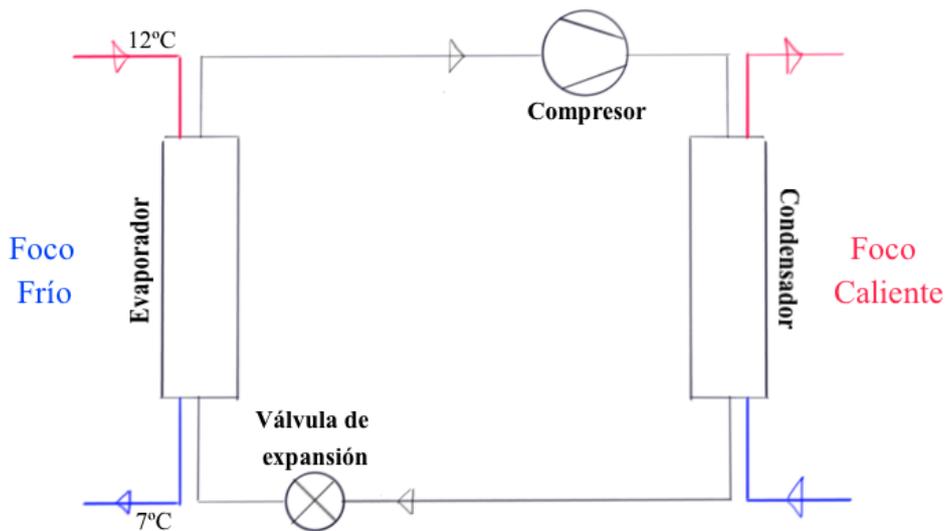


Figura 2.3. Principio de funcionamiento del ciclo termodinámico (elaboración propia).

Rendimiento Energético

El rendimiento de la planta enfriadora es el parámetro fundamental que se considera a la hora de mejorar su eficiencia energética, y este parámetro depende fundamentalmente de la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente, así como de la fase en la que se encuentre el fluido con el que se intercambia el calor. Cuanto mayor sea esta diferencia, mayor será el esfuerzo que la máquina tenga que hacer, y viceversa. Además, la eficiencia del intercambio de calor será mucho mayor cuando sea un fluido en fase líquida el que se haga pasar por el intercambiador, pues su coeficiente de convección es mucho mayor que el de la fase gaseosa.

Por tanto, cuando se trata de aumentar el rendimiento de una planta enfriadora, se buscan dos objetivos: disminuir la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente, y realizar el intercambio de calor entre fluidos en fase líquida en lugar de gaseosa [6].

No obstante, las plantas enfriadoras más comunes en las instalaciones hoteleras en Canarias son aquellas que aprovechan como medio de condensación el aire. Esto quiere decir que la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente dependerá siempre de la temperatura del aire exterior. La gran desventaja que conlleva este tipo de planta enfriadora es que, cuando más se necesita la refrigeración, es decir, durante el verano, la temperatura exterior en Canarias puede rondar los 35°C. Esto se traduce en una diferencia de temperaturas de 28°C, factor que, sumado a que el fluido -el aire exterior- se encuentra en estado gaseoso, hace que la eficiencia energética sea relativamente baja. Cierto es que, durante el invierno, la temperatura exterior puede bajar por debajo de los 20°C a los que se encuentra el agua del pozo, sin embargo, con esa temperatura exterior, tampoco se requerirá refrigerar el interior del hotel.

2.4. El Sistema Geotérmico de Baja Entalpía

Este sistema se presenta como un sustituto de las bombas de calor tradicionales condensadas por aire. Haciendo uso del calor acumulado en la tierra, así como de su inmensa inercia térmica, el sistema geotérmico de baja entalpía reduce el consumo de las instalaciones de generación de calor y de refrigeración.

La mayor de las ventajas que presentan los sistemas geotérmicos es que, independientemente de las variaciones de la temperatura del aire exterior, la temperatura del terreno permanece relativamente constante bajo la tierra. Este factor se hace aún más notable a medida que se profundiza en el terreno.

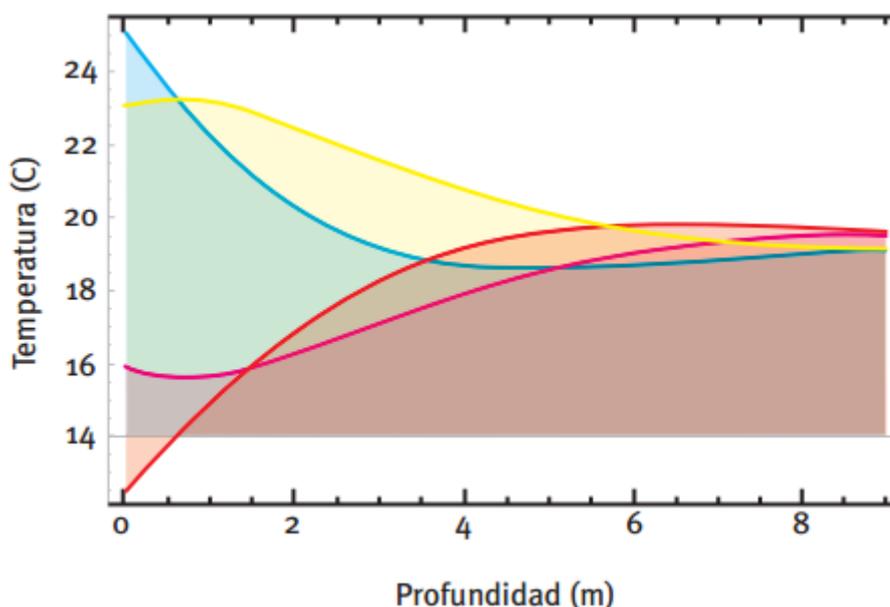


Figura 2.4. Evolución de la temperatura del suelo [7].

La figura 2.4 muestra la evolución de la temperatura con la profundidad para diferentes días a lo largo del año. La curva roja corresponde a la distribución de temperaturas en el día 30 (finales de enero), las curvas magenta, azul y amarillo, respectivamente, a los días 90, 180 y 270 [7].

Principio de Funcionamiento

En las capas más superficiales de la tierra se encuentra un gradiente de temperaturas muy amplio, que varía entre los 20°C y los 400°C. Dependiendo de la temperatura a la que se encuentre el material terrestre, se varía el método del aprovechamiento de su energía. Así, a temperaturas altas el uso principal que se le da al terreno es el de generar energía eléctrica, haciendo pasar vapor calentado en la tierra por una serie de turbinas. A temperaturas medias, el calor es aprovechado para usos industriales, como pueden ser procesos de secado o de esterilización; por medio de un intercambiador de calor, se aprovecha la energía contenida en la tierra. Por último, a bajas temperaturas, el calor existente no puede ser aprovechado directamente, pues su temperatura se encuentra por debajo de la temperatura requerida por la instalación. Por tanto, para aprovechar ese calor a baja temperatura, se hace uso de una bomba de calor, que eleva la temperatura del calor existente en la tierra, de manera que pueda ser aprovechado [8].

En Canarias, los mayores yacimientos geotérmicos son a baja temperatura; a pesar de que existen diversas fuentes de alta temperatura en varias de las Islas Canarias, se encuentran en puntos muy concretos, por lo que su aplicabilidad turística es relativamente reducida. Es por ello que, en este estudio, se hace hincapié en el sistema geotérmico de baja temperatura [9].

Existe una gran variedad de métodos de captación de energía geotérmica de baja temperatura, siendo los principales los siguientes:

- *Colectores horizontales enterrados*: disposición de tuberías horizontales situadas a pocos metros por debajo del suelo.
- *Sondas geotérmicas*: similares a los colectores horizontales, solo que dispuestos de manera vertical, siendo enterrados varias decenas de metros bajo el suelo.
- *Pozos geotérmicos*: requieren de la presencia de una bolsa de agua, se extrae el agua haciendo uso de bombas sumergibles, se intercambia calor con el agua y se expulsa el agua de vuelta a la bolsa de agua.
- *Cimientos geotérmicos*: se aprovechan los cimientos del edificio para hacer pasar una serie de tuberías por ellos [10].

Dentro de todos los métodos de captación geotérmica de baja entalpía, el que se presenta como el más prometedor es el de la captación por medio de pozos geotérmicos, ya que el intercambio de calor se realiza entre dos fluidos en estado líquido, así aumentando los valores de transferencia de calor. Es por ello que este estudio se centra en particular en la geotermia de baja entalpía con captación por medio de pozos geotérmicos. La figura 2.5 ilustra el método de funcionamiento de este tipo de aprovechamiento energético.

Los sistemas de bombas de calor geotérmicas combinan bombas de calor con intercambiadores de calor con la tierra, y estos sistemas aprovechan la tierra como una fuente de calor en modo calefacción, y como un sumidero de calor en modo refrigeración. El agua es el medio por el cual se transfiere el calor entre la tierra y el evaporador de la bomba de calor para aprovechar la energía geotérmica [11].

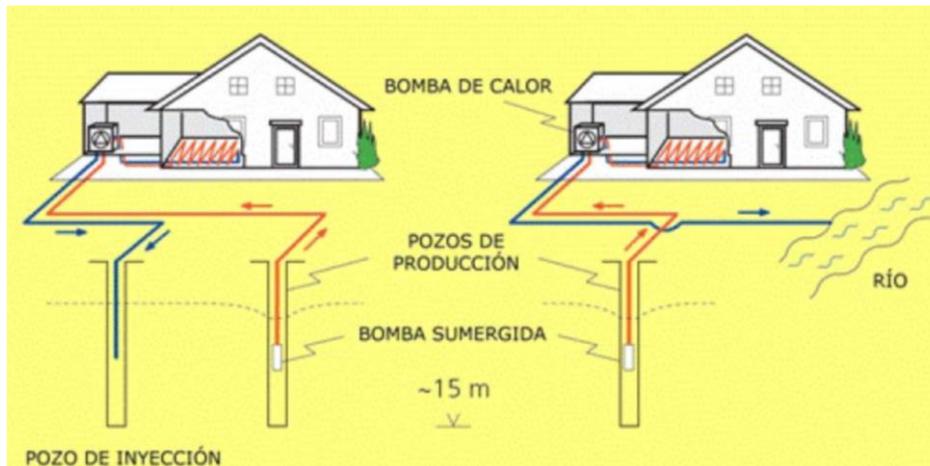


Figura 2.5. Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera [10].

Una instalación de aprovechamiento de energía geotérmica de baja entalpía con captación por de agua somera siempre dispondrá de dos pozos independizados, y situados a una cierta distancia el uno del otro. Uno de los pozos será utilizado para captar, o extraer agua desde la bolsa de agua hacia la instalación, mientras que el otro pozo servirá para expulsar agua de vuelta a la bolsa de agua. La distancia mínima entre ambos pozos sirve para evitar que el agua expulsada al nivel freático se recircule y sea captada nuevamente; al separarlos se logra una mayor distribución de temperaturas en la bolsa de agua, por lo que la temperatura media de la misma se mantiene relativamente constante [12, 13].

También es necesario, a la hora de diseñar un sistema geotérmico como el que se estudia, tener en cuenta qué tipo de agua es la que se encuentra en el nivel freático. El litoral de las Islas Canarias es, en su vasta mayoría, de carácter volcánico, con un tipo de piedra porosa que permite la filtración de agua desde el mar hacia el interior de la corteza terrestre. Es por ello que es relativamente fácil de encontrar el nivel freático a poca profundidad en las zonas cercanas a la costa -la profundidad a la que se halla el nivel freático normalmente aumenta conforme aumenta la distancia con respecto a la costa. Los acuíferos de agua dulce no son muy abundantes en las Islas Canarias, y su uso está muy ligado al nivel de lluvias que se den; durante las épocas de sequía, el nivel de los acuíferos baja notablemente, por lo que puede llegar a imposibilitar la captación del agua somera.

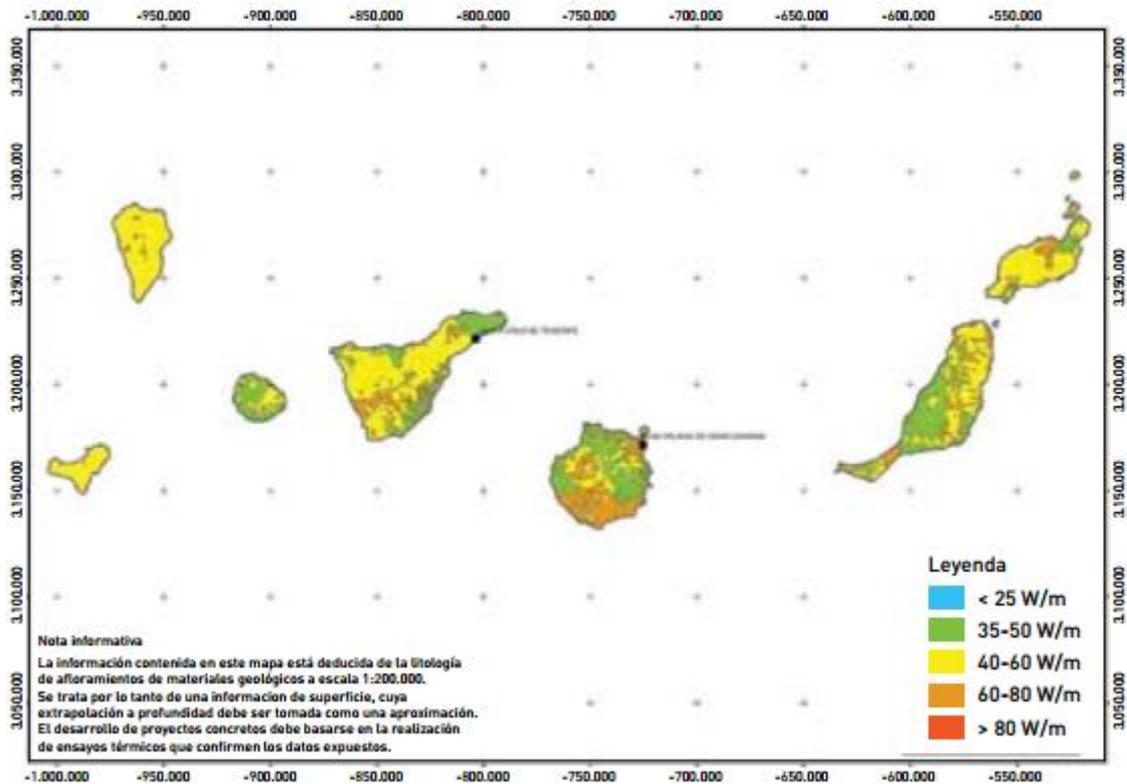


Figura 2.6. Mapa de potencia térmica superficial de las Islas Canarias [9].

Tal y como muestra la figura 2.6, las Islas Canarias, y en particular la isla de Gran Canaria, poseen un importante potencial de aprovechamiento geotérmico. Es preciso puntualizar que, en las Islas Canarias, en general, las posibilidades de explotación de acuíferos con bomba de calor, [...], son muy escasas, debido a la gran profundidad a que se encuentra habitualmente el nivel de agua subterránea. La excepción a esta generalización es la franja costera de las islas [9].

La instalación particular estudiada tratará de cubrir las demandas de refrigeración y de calor de una serie de hoteles haciendo uso de una bomba de calor geotérmica, que abastezca tanto de frío para la climatización de las habitaciones como de calor para la producción de ACS y para la climatización de piscinas. La figura 2.7 muestra cómo trabaja una bomba de calor geotérmica para sustituir a una planta enfriadora, esto es, cuando la demanda de refrigeración es alta (durante el verano). En esta época, el calor extraído de la instalación (demanda de refrigeración) es mucho mayor que el calor requerido por las piscinas y el ACS (demanda de calor), por lo que es necesario disipar el calor excedente hacia el pozo geotérmico. El flujo de calor, por tanto, partirá en el interior de los edificios, y será trasladado hacia los depósitos de ACS y las piscinas que requieran de climatización. El calor excedente, será vertido al pozo, por lo que este actúa como un sumidero de calor.

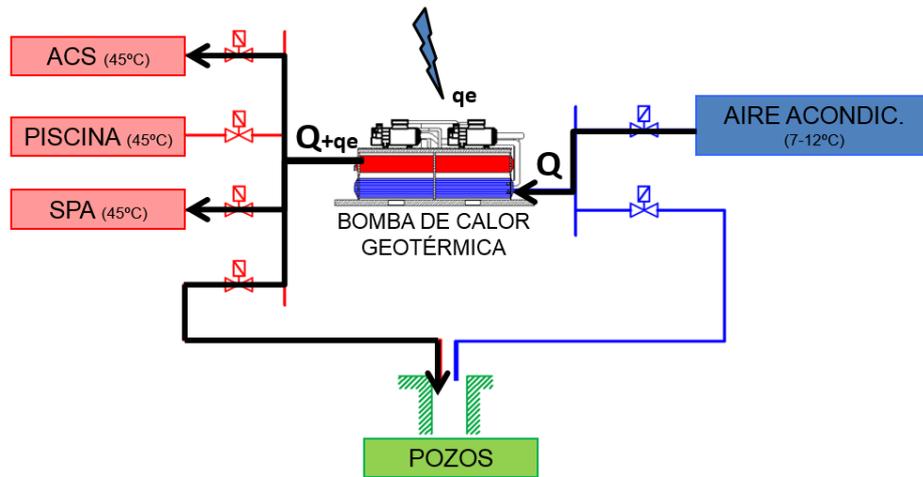


Figura 2.7. Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el verano (Ingeniería Canaria del Ahorro Energético, Incanae S.L.).

Cuando se trata de aumentar el rendimiento de una planta enfriadora, se busca disminuir la diferencia de temperaturas entre el foco frío y el foco caliente, además de intercambiar con fluidos en fase líquida en lugar de gaseosa.

Esto es exactamente lo que se consigue mediante el empleo de la geotermia de baja entalpía: se extrae agua de un pozo subterráneo, con una temperatura constante durante el año de unos 20°C, y se le hace pasar por en condensador de la bomba de calor. Por tanto, asumiendo que la temperatura de evaporación es de 7°C, la diferencia de temperatura entre ambos focos será de apenas 13°C, y el fluido con el que se intercambia calor está en estado líquido. Esto se traduce en un aumento considerable del rendimiento energético de la máquina.

Por lo pronto se han mencionado únicamente las ventajas que tiene el uso de la geotermia de baja entalpía en la generación de frío. Sin embargo, esta tecnología también permite la generación de calor con un desempeño energético muy alto.

Durante las épocas más calurosas, la necesidad de refrigeración hace que se aprovechen los pozos geotérmicos como sumideros de calor, a los que se vierte el exceso de energía que hay en el interior de los edificios. Durante el invierno, la necesidad de refrigeración se ve sustituida por una demanda de calor, tanto para climatizar piscinas, como para precalentar el ACS. Esto conlleva que, en lugar de tener excesos de calor, se requiere de un aporte de calor externo. Este aporte puede ser obtenido del calor de la tierra. La figura 2.8 muestra gráficamente el flujo del calor durante el invierno, cuando parte desde los pozos, discurre por la bomba de calor geotérmica y termina en los depósitos de ACS, así como en las piscinas y spas.

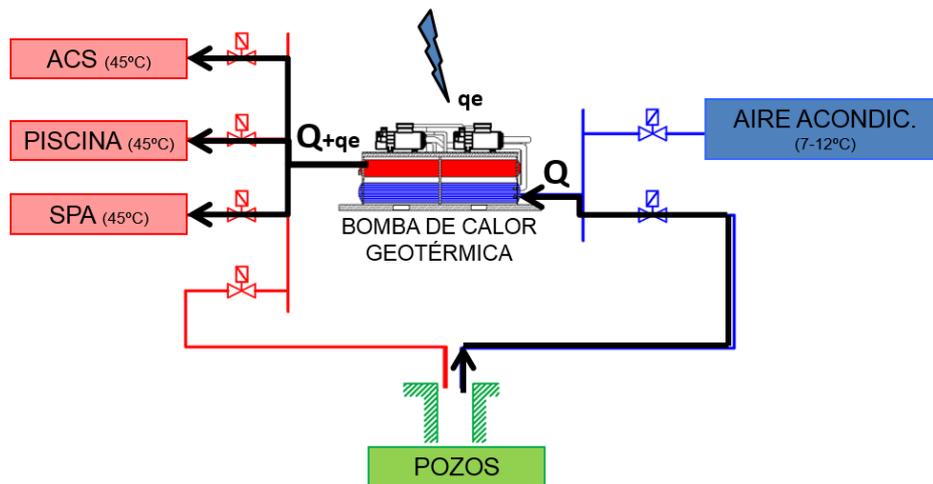


Figura 2.8. Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el invierno (Incanae S.L.).

Para extraer el calor de la tierra, basta con invertir el sentido de funcionamiento de la planta enfriadora, para convertirla en una bomba de calor. Esta bomba de calor extrae energía calorífica de los pozos geotérmicos y la vuelca en la instalación. En este caso, se estaría haciendo uso de los pozos como fuente de calor.

2.4.1. Sistemas Centralizados con Aprovechamiento Geotérmico

Todas las instalaciones hoteleras tienen una cierta demanda de calor, así como otra de frío. Teniendo en cuenta que una bomba genera tanto frío (en el lado del evaporador), como calor (en el lado del condensador), al tratar de equilibrar las demandas de frío y de calor se disminuirá la necesidad de un aporte externo, como puede ser un pozo geotérmico o el propio aire. Al hacer uso tanto del calor como del frío que genera la bomba de calor, se estará aumentando notablemente el rendimiento energético, pues, para un mismo consumo, estaremos obteniendo cerca del doble de energía. La figura 2.9 ilustra el método de funcionamiento de la instalación geotérmica durante las épocas de entretiempo, cuando las demandas de refrigeración y de calor de la instalación son similares, y el pozo geotérmico prácticamente no es requerido.

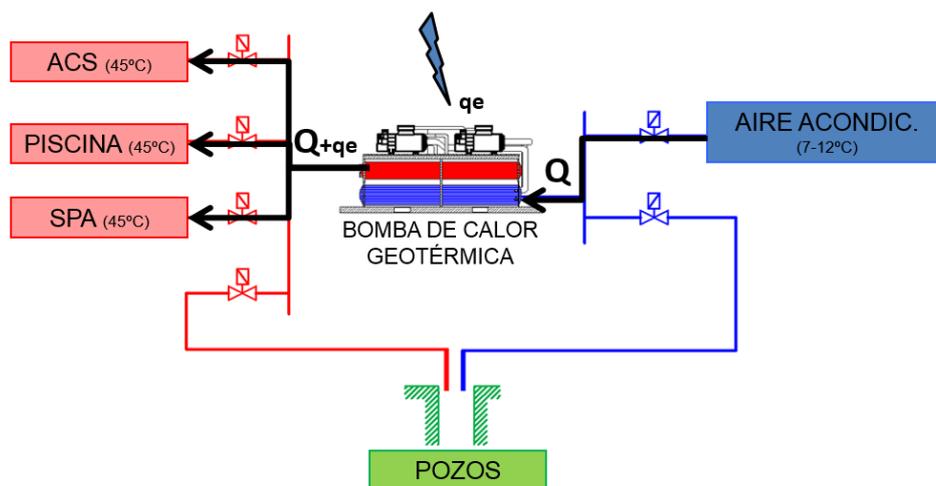


Figura 2.9. Principio de funcionamiento del sistema geotérmico de baja temperatura con captación de agua somera durante el entretiempo (Incanae S.L.).

Es en este punto en el que juega un papel importante la centralización de las instalaciones. Cada instalación es diferente, y se asume que las demandas de cada instalación variarán entre ellas, de manera que la proporción de demanda de calor frente a demanda de frío de cada hotel sea distinta. Esto se traduce en que, a la hora de equilibrar ambas demandas, será más fácil hacerlo cuantas más instalaciones estén conectadas a una misma red.

Por ejemplo, si se estudian dos instalaciones, la primera con unas habitaciones mal aisladas del calor y con una piscina cubierta, y la segunda con un buen aislamiento en las habitaciones y con piscina al aire libre. La primera tendrá una demanda de frío mayor que la segunda, mientras que la segunda tendrá una demanda de calor mayor que la primera. Si estas instalaciones tuviesen una generación independiente, el consumo de ambas sería alto, pues ambas tienen una alta demanda (de frío y de calor respectivamente). Sin embargo, si la generación de ambas instalaciones se hiciera de manera conjunta, el calor residual generado para cubrir la alta demanda de refrigeración de la primera instalación sería aprovechado para calentar la piscina de la segunda instalación. La instalación conjunta tendría un consumo total mucho menor que la suma de las instalaciones individuales. Este fenómeno se mide con el factor de simultaneidad, que disminuye notablemente al aumentar el tamaño de las instalaciones.

2.5. La Instalación Propuesta

En este estudio se propone una instalación geotérmica muy similar a la que ha sido descrita anteriormente en esta sección, esto es, aprovechará la energía del terreno por medio de pozos de agua marina. Esta agua siempre quedará separada del agua de circulación de las bombas de calor por un intercambiador de calor.

Existirán dos tipos de bombas de calor, unas de mayor tamaño, a las que se denominará de aquí en adelante bombas de calor geotérmicas (o BCG), y otras más pequeñas llamadas bombas de calor de alta temperatura (o BCAT). Las primeras suplirán la demanda de aire acondicionado de los hoteles, a la par que la demanda de climatización de piscinas y parte de la demanda de producción de ACS. Las BCAT servirán para terminar de producir el ACS, elevándole la temperatura hasta los 60°C que marca el reglamento.

Una serie de bombas de circulación transportarán la energía, por medio de una serie de tuberías que discurren entre la central geotérmica y cada instalación hotelera a la que se surte. Las tuberías deberán ir debidamente aisladas para evitar pérdidas de calor o condensaciones innecesarias.

Por último, y ya en cada hotel, se instalarán tres intercambiadores de calor, uno para el aire acondicionado, otro para el calor a baja temperatura (ambos procedentes de las BCG) y uno último para el calor a alta temperatura (procedente de las BCAT). De esta manera, quedarán interconectados todos los hoteles entre sí, y con la central de generación geotérmica.

En el Anexo 3 de este documento se puede hallar un esquema térmico simplificado de la instalación propuesta.

2.6. Normativa de Aplicación

En este apartado se trata de ofrecer al lector un punto de vista globalizado sobre la normativa actual que afecta al empleo de energías renovables, y en particular a la geotermia de baja entalpía. Se hará mención a las siguientes normativas:

- Directiva 2010/31/UE, que habla sobre los edificios de consumo casi nulo

- Directiva 2009/28/CE, en la que se especifica un método para obtener el balance energético de las bombas de calor
- Reglamento de Instalación Térmicas en la Edificación
 - IT 1.2 – Exigencias de Eficiencia Energética
 - ITE 10.2 – Acondicionamiento de Piscinas
- Código Técnico de la Edificación
 - Documento Básico HE-4

La directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios comenta la situación energética que vive la Unión Europea a día de hoy, señalando apuntes tales como es que el 40% de la energía consumida en esta zona, procede del sector residencial.

Es por ello, que tiene como objetivo principal el de fomentar la eficiencia energética en los edificios, tanto existentes, como de nueva construcción, y siempre tomando en consideración las distintas climatologías de cada Estado miembro. Así mismo, propone el establecimiento de una serie de requisitos mínimos de eficiencia energética.

De particular interés es la sección de las instalaciones técnicas de los edificios, en la que se hacen una serie de propuestas. La primera de ellas es la del establecimiento de una serie de requisitos relacionados con la eficiencia energética de las instalaciones técnicas, como son “la instalación correcta y el dimensionado, control y ajuste adecuados”.

Estos requisitos serán necesarios en todas las instalaciones que sean nuevas, sustituyan a las existentes o las mejoren y sólo serán aplicables cuando sea técnica, funcional y económicamente viable.

Merece recabar atención en que este documento considera, entre una de sus definiciones, a la energía geotérmica como energía de origen renovable. Esto representa un punto importante a la hora de implantar la tecnología geotérmica en las edificaciones de nueva construcción o en reformas de edificios, tal y como se explicará más adelante en este apartado. Además, esta Directiva propone la bomba de calor como uno de las alternativas a tener en cuenta a la hora de especificar el sistema de generación de calor y de frío de una nueva instalación, debido a sus prestaciones altamente eficientes. [14]

La Directiva 2009/28/CE, en su Anexo VII, establece el método para calcular la cantidad de calor producido por las bombas de calor que debe considerarse procedente de fuentes de energía renovable. Este documento especifica, por tanto, las pautas a seguir para conocer y justificar cómo de renovable es esta tecnología. Una vez más, esta Directiva marca un paso hacia el empleo de la energía geotérmica en las edificaciones.

La fórmula que sugiere esta Directiva hace uso de un factor del que no se ha hecho mención anteriormente en este estudio, que es el de las Prestaciones Medias Estacionales de las bombas de calor (SPF por sus siglas en inglés). Este es un cociente que, tal y como se detalla en el documento Prestaciones Medias Estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios, del Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía, depende del tipo de máquina empleada. Diferencia entre plantas enfriadoras y bombas de calor, así como entre aquellas aerotérmicas, las geotérmicas, y las hidrotérmicas.

Por su parte, el Código Técnico de la Edificación, en sus Documentos Básicos HE, establece una serie de pautas que promueven el uso de energías de carácter renovable en la edificación. En su DB HE-2, exige un rendimiento mínimo de las instalaciones térmicas, haciendo referencia al Reglamento de las Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE) en su IT 1.2. En el DB HE-4, se hace alusión a la contribución solar mínima de agua caliente sanitaria,

concretándose que, en Canarias, el valor de dicha contribución mínima corresponde al 70%. En su punto 2.2.1, apartado 4, se especifica que:

La contribución solar mínima para ACS y/o climatización de piscinas cubiertas podrá sustituirse parcial o totalmente mediante la instalación alternativa de otras energías renovables, procesos de cogeneración o fuentes de energía residuales procedentes de la instalación de recuperadores de calor ajenos a la propia generación de calor del edificio; bien realizada en el propio edificio o bien a través de la conexión a una red de climatización urbana.

El RITE, en su IT 1.2 habla sobre las exigencias en cuanto a eficiencia energética de las instalaciones de producción de calor y de frío. A modo de resumen, esta IT comenta que las instalaciones térmicas deben diseñarse y ejecutarse de forma que se reduzca el consumo de energía convencional y las emisiones de gases de efecto invernadero y otros contaminantes mediante la utilización de sistemas eficientes energéticamente, de sistemas que permitan la recuperación de energía y la utilización de las energías renovables.

Concretamente, la IT 1.2.4.6.1. Contribución de calor renovable o residual para la producción térmica del edificio, se comenta lo siguiente:

- 1. En los edificios nuevos o sometidos a reforma, con previsión de demanda térmica una parte de las necesidades energéticas térmicas derivadas de esa demanda se cubrirán mediante la incorporación de sistemas de aprovechamiento de calor renovable o residual.*
- 2. Estos sistemas se diseñarán para alcanzar los objetivos de ahorro de energía primaria y emisiones de CO₂ establecidos en el CTE. En la selección y el diseño de la solución se tendrán en consideración los criterios de balance de energía y rentabilidad económica.*
- 3. La determinación de los coeficientes de paso de la producción de CO₂ y de energía primaria, se realizarán de acuerdo con lo establecido en el apartado 2 de la IT 1.2.2.*
- 4. Las fuentes de calor reversible y residual pueden estar integradas en la propia generación térmica del edificio o ser accesibles a través de una red de distribución de energía térmica de distrito.*

Por último, haciendo referencia a la ITE 10.2 del RITE, que trata sobre el acondicionamiento de piscinas, se especifica que, en piscinas al aire libre solo podrán utilizarse para el calentamiento del agua fuentes de energías residuales o de libre disposición, como la energía solar, el aire, el agua o el terreno. No puede utilizarse energía eléctrica para el calentamiento por efecto Joule como apoyo a las fuentes anteriores.

Por tanto, para la producción de ACS, un mínimo del 70% de la energía empleada debe ser de origen renovable (en Canarias), mientras que, en el caso de las piscinas descubiertas, se amplía al 100% del consumo energético el que debe ser renovable. Volviendo a la Directiva 2010/31/UE, en la que se clasifica a la energía geotérmica como renovable, y a la Directiva 2009/28/CE, que establece el método para conocer la cantidad de energía renovable generada por una bomba de calor, se entiende que la bomba de calor geotérmica podrá ser empleada para la generación de ACS, siempre y cuando más del 70% de la energía que genere sea renovable, y podrá ser empleada para la climatización de una piscina al aire libre de manera que se aproveche su energía residual al generar frío.

Si bien esta es una manera correcta de interpretar la normativa vigente, no es la única; tal y como comenta la IT 1.2.4.6.1., no será necesario que la fracción de energía procedente de origen renovable coincida o supere a la contribución mínima establecida, siempre y cuando se justifique

que el método alternativo propuesto conlleve una reducción tanto en las emisiones de CO₂, como en el consumo energético final comparado con un sistema que cumpla con la normativa.

Otros tipos de energías renovables que pueden ser empleados para la producción de ACS incluyen la energía solar, la caldera de biomasa, o las bombas de calor aerotérmicas.

Por otra parte, los únicos competidores para la generación de calor para la climatización de piscinas son el panel solar y la caldera de biomasa. A diferencia de la bomba de calor geotérmica, una inversión en estas tecnologías únicamente servirá para generar calor, mientras que invertir en una bomba de calor geotérmica cubrirá tanto la generación de frío como la de calor. Además, la bomba de calor geotérmica garantiza la generación de calor para climatizar piscinas en cualquier momento, mientras que los paneles solares solamente podrán calentar durante las horas de sol. Esto último conllevaría, en el caso de que se instalasen paneles solares, a sobredimensionar la instalación solar, a fin de garantizar la climatización de las piscinas durante el invierno y en días en los que la incidencia solar sea mínima, consecuentemente incrementando notablemente tanto los costes iniciales como los de mantenimiento.

Se concluye, por todo lo anterior en que, a día de hoy, la energía geotérmica de baja temperatura se presenta como la candidata más adecuada, tanto técnica como económicamente, para la generación de energía térmica en la edificación.

3. Metodología

A lo largo de esta sección, se tratará de explicar, con el mayor detalle posible, la metodología empleada para el cálculo de la demanda energética de la instalación, así como el consumo energético y económico, y las emisiones de CO₂ de cada uno de los sistemas convencionales comentados anteriormente.

3.1. Cálculos de la Demanda de Calor

A continuación, se exponen las metodologías empleadas para el cálculo de la demanda de generación de calor, tanto en el caso de la producción del agua caliente sanitaria, como en el caso de la climatización de las piscinas.

3.1.1. Cálculo de la Demanda de ACS

El procedimiento para la estimación de la demanda energética relacionada con el agua caliente sanitaria (ACS) se divide en dos secciones. La primera de las secciones trata de establecer un valor del volumen de consumo de ACS para cada hotel [18]. Este valor se estima atendiendo a la siguiente fórmula:

$$V = O \cdot H \cdot P \cdot C$$

Donde,

v es el caudal volumétrico de ACS requerido diariamente (L/día)

O corresponde al nivel de la ocupación (%)

H es el número de habitaciones por hotel (hab.)

P es el número de ocupantes por habitación (pers./hab.)

C es el consumo estimado de ACS por persona y día (L/pers.día)

Para estimar el consumo de ACS por persona y día, se ha hecho uso de las tablas del CTE HE-4, donde se estipula que el consumo correspondiente a un hotel de 4* es de 70 litros por persona y día. Teniendo en cuenta que estos son, en su mayoría, hoteles de 5*, se asume que el consumo de ACS asciende a los 100 litros por persona y día.

Dado que los caudales volumétricos de los hoteles estudiados son relativamente altos, las unidades de litros por día no son las más adecuadas para trabajar. Es por ello que se convierten los valores de caudales volumétricos a metros cúbicos al mes, de manera que quedan números más manejables y fácilmente comprensibles.

La segunda sección del procedimiento para la estimación de la demanda energética relacionada con el consumo de ACS calcula la energía requerida para elevar la temperatura del caudal volumétrico calculado en la ecuación anterior desde la temperatura de la red, hasta 60°C, la temperatura de suministro del ACS. La ecuación es como sigue:

$$\frac{V \cdot (T_S - T_R) \cdot P_e}{0,86}$$

Donde,

Q es la demanda energética mensual relacionada con el ACS (kWh/mes)

Ts es la temperatura de suministro del ACS, con un valor de 60°C

Tr es la temperatura del agua de red, variante a lo largo del año (°C)

Pe es un coeficiente relacionado con las pérdidas de calor asociadas al transporte del ACS por el hotel

3.1.2. Cálculo de la Demanda de Piscinas

El mercado turístico ofrece cada vez mayores prestaciones para sus clientes, por lo que los hoteles deben saber adaptarse a las necesidades del turista en cada momento. Una de las prestaciones que se está convirtiendo actualmente, casi en obligatoria, es la de tener las piscinas atemperadas, de manera que el cliente pueda disfrutar de ellas en cualquier época del año, e independientemente de las condiciones climatológicas. En este estudio, se asume que las piscinas serán climatizadas durante todo el año, de manera que se encuentren a una temperatura constante. Esto conlleva un gasto energético importante, especialmente durante el invierno, y, por tanto, se lleva a cabo un estudio pormenorizado de la demanda energética asociada a la climatización de las piscinas.

Para llevar a cabo el balance energético de las piscinas se ha tomado como referencia el método empleado por el *Chartered Institute of Building Services Engineers* en su artículo CIBS Guide, Section C-3, ya que muestra y cuantifica de una manera clara y concisa cómo pierden y ganan calor las piscinas descubiertas.

Los principales datos requeridos para completar la estimación de la demanda energética de las piscinas de los cinco hoteles en cuestión se dividen en dos grupos. El primero de los grupos representa las características de las instalaciones, es decir, qué número de piscinas tienen, cual es la superficie de cada una de ellas, y a qué temperatura se quieren mantener. Este grupo de datos se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. Datos de las piscinas de los cinco hoteles.

Cadena	Nombre	Superficie de la piscina (m ²)						Temp. de la piscina (°C)
		Piscina 1	Piscina 2	Piscina 3	Piscina 4	Piscina 5	Piscina 6	
LOPESAN	Villa del Conde	911,31	869,75	379,25	65,1	241,69	0	24
LOPESAN	Costa Meloneras	3621,3	1726,32	227,29	480,64	229,4	62,7	24
LOPESAN	Baobab	457,84	144,83	2142,16	455,7	1608,55	68,82	24
RIU	Gran Canaria	918,65	0	0	0	0	0	24
RIU	Palace Meloneras	521,4	16,94	331,93	0	0	0	24

El segundo grupo de datos requerido para la estimación de la demanda energética de las piscinas es el de las condiciones ambientales. Los datos que se muestran en la tabla 3.2 han sido recogidos de diversas la base meteorológica de Gando, al ser esta la que se sitúa más cerca de la zona de Meloneras.

Tabla 3.2. Datos meteorológicos para el emplazamiento.

Mes	Días	H.R.	T.amb	V.vto.	Rad.horz.	Pv amb.
		%	G.C.	m/s	Kc/d/m ²	Kg/cm ²
ENE	31	74	16,9	5,55	2950	0,0148
FEB	28	71	17,4	5	3100	0,0146
MAR	31	66	18,6	6,67	4170	0,0146
ABR	30	67	18,8	6,39	4510	0,0149
MAY	31	66	19,8	7,5	5180	0,0156

JUN	30	68	21	7,22	5570	0,0173
JUL	31	67	23,2	8,33	5900	0,0194
AGO	31	70	24,4	7,78	5400	0,0217
SEP	30	73	24,3	6,11	4410	0,0225
OCT	31	73	22	5,55	3880	0,0197
NOV	30	71	19,9	5,28	3080	0,0169
DIC	31	72	17,9	5	2540	0,0152

Una vez estipulados los datos de partida, se procede a explicar la metodología a seguir para estimar la demanda energética relacionada con la climatización de piscinas.

Existen 5 tipos de pérdidas en las piscinas, siendo estas las siguientes:

- Conducción
- Convección
- Radiación
- Evaporación
- Reposición

Conducción

El primer tipo de pérdidas basa su principio en la conducción de calor a través de las paredes de la piscina, tanto por los laterales como por el fondo, hacia la tierra o el aire que las rodea [20]. La ecuación que describe estas pérdidas es la siguiente:

$$Q_{cond} = U \cdot A \cdot \Delta T_{cond} \cdot n$$

Donde,

Q_{cond} es el calor transmitido por conducción (kWh/mes)

U es el coeficiente de transmitancia global (kW/m²·°C)

A es la superficie que entra en contacto con los alrededores (m²)

ΔT_{cond} es la diferencia de temperatura entre el agua de la piscina y los alrededores de la misma (°C)

n se corresponde con el tiempo, medido en horas, de cada mes

Tal y como se observa en la ecuación, existen varios parámetros que influyen al ritmo al que el vaso de la piscina pierde calor por conducción. Quizás, el más importante de todos los parámetros sea el coeficiente de transmitancia global, ya que influye en gran medida el valor final de las pérdidas. Un valor típico de transmitancia para piscinas enterradas está sobre los 0,32 W/m²K, mientras que el valor normal de transmitancia en piscinas descubiertas es mucho mayor, rondando los 12,6 W/m²K, a lo que habría que sumarle las pérdidas asociadas a la convección por las paredes en contacto con el aire [19].

Para el caso de este estudio, se considera que todas las piscinas de los cinco hoteles se encuentran completamente enterradas. Teniendo esto en cuenta, y dado el valor tan bajo del coeficiente de transmitancia global a través de las paredes y del suelo de la piscina, se considera que las pérdidas por conducción de la piscina son despreciables.

Convección

Las pérdidas por convección pueden ser evaluadas atendiendo a la siguiente ecuación:

$$Q_{cv} = h_{cv} \cdot v \cdot A_{lam} \cdot \Delta T_{lam} \cdot n$$

Donde,

Q_{cv} representa las pérdidas por convección (kWh/mes)

h_{cv} es el coeficiente de convección (kW/m²°C)

v corresponde con el coeficiente de viento, con un valor de 0,6

A_{lam} es el área de la superficie de la lámina de agua en contacto con el aire (m²)

ΔT_{lam} es la diferencia de temperatura entre el agua de la piscina y el aire que la rodea (°C)

Es importante notar que el coeficiente de convección varía en función de dos parámetros fundamentales: la diferencia de temperatura entre el agua de la piscina y el aire que la rodea, y la velocidad del viento. Siempre, a mayor diferencia de temperatura, mayor ritmo de transferencia de calor entre las dos fases, pues el gradiente de temperatura aumenta. Además, las velocidades de viento altas hacen que el calor acumulado en la capa de aire inmediatamente superior a la capa del agua sea perdido, lo que crea una mayor diferencia de temperaturas, y por consiguiente unas mayores pérdidas de calor.

Hay que notar que este fenómeno no sólo afecta a la piscina de manera negativa, sino que, en el caso de que la temperatura del aire de los alrededores supere la temperatura del vaso de la piscina, la transferencia de calor será hacia la piscina, y por tanto esta ganará calor en lugar de perderlo.

El coeficiente h_{cv} , que determina cómo de eficiente es la transferencia de calor por convección, varía en función de la velocidad del viento atendiendo a la figura 3.1.

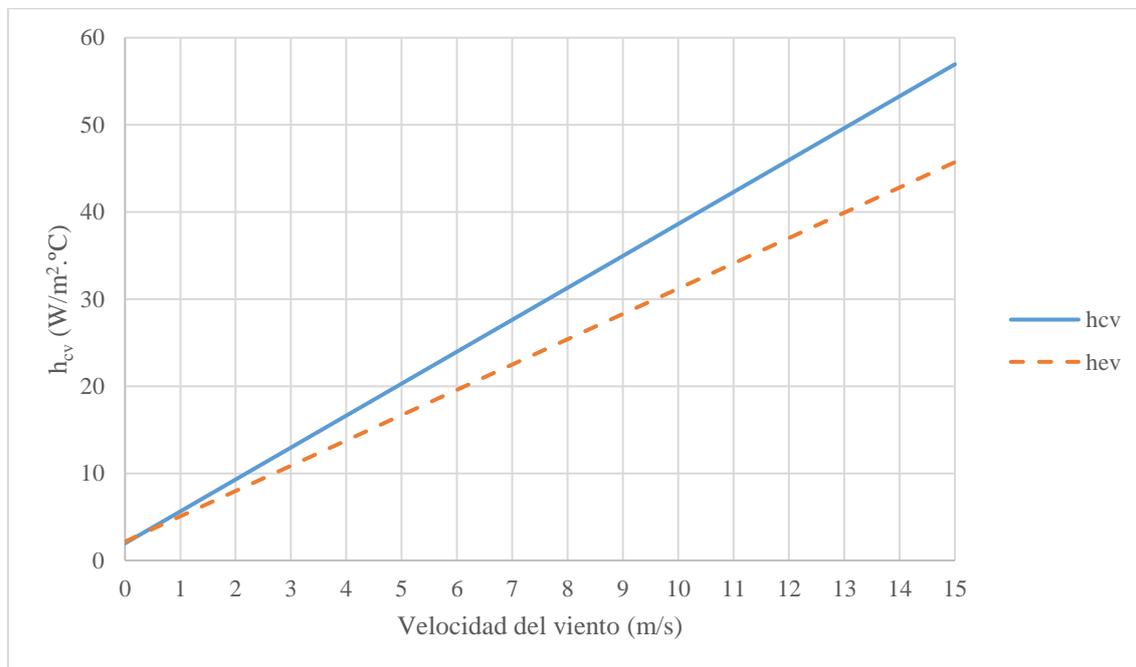


Figura 3.1. Variación de los coeficientes de convección (h_{cv}) y de evaporación (h_{ev}) con respecto a la velocidad del viento.

Con el fin de obtener datos precisos sobre el valor del coeficiente de convección en función de la velocidad del viento, se traza una recta que conecta los puntos del área sombreada por su parte más baja, es decir, desde un punto de vista conservador. La ecuación de la recta que

describe la variación del coeficiente de convección en función de la velocidad del viento queda de la siguiente forma:

$$h_{cv} = 3,67 \times 10^{-3} \cdot v + 1,97 \times 10^{-3}$$

Radiación

Las transferencias de calor asociadas a la radiación entre el aire y el agua de la piscina vienen dadas por la siguiente ecuación:

$$Q_{rad} = A_{rad} \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot [(T_w)^4 - (T_{amb})^4] \cdot n$$

Donde,

Q_{rad} representa las pérdidas por radiación (kWh/mes)

A_{rad} es el área de la superficie en contacto con el aire (m^2)

ε es la emisividad del agua de la piscina (se asume un valor de 0,9)

σ es la constante de Stefan Boltzmann, con un valor de $5,67 \times 10^{-11}$ kW/ $m^2 \cdot K^4$

T_w es la temperatura del agua de la piscina (K)

T_{amb} es la temperatura de los alrededores de la piscina, o del cielo (K)

Se asume que la temperatura del cielo es igual a la temperatura ambiente del aire que rodea la piscina, ya que, según el artículo mencionado, no conlleva un error considerable.

Evaporación

La cantidad de calor perdido asociado a la evaporación normalmente es la mayor de las pérdidas energéticas. Una ecuación muy simple es utilizada para evaluar estas pérdidas:

$$Q_e = L_w \cdot K_e \cdot \Delta P \cdot n \cdot A$$

Donde,

Q_e representa las pérdidas por evaporación (kWh/mes)

L_w es el calor latente de evaporación del agua a la temperatura de la superficie (se asume un valor de 2425,5 kJ/kg)

K_e es el coeficiente de transferencia de masa ($kg/m^2 \cdot s \cdot Pa$)

ΔP es la presión parcial ejercida por la superficie de la piscina menos la presión parcial ejercida por la humedad del aire (Pa)

A es el área de la superficie de la piscina (m^2)

A pesar de que la fórmula es relativamente sencilla, la selección del valor de K_e apropiado no lo es; a continuación, se comenta el método seleccionado para su estimación.

Czarnecki sugiere que se aproxime de la manera siguiente:

$$K_e = 315,1 \cdot h_{ev}$$

El valor del h_{cv} , relacionado con la sección de la convección, es tomado de la serie de valores de la figura 3.1. Dado que las pérdidas por evaporación se consideran mayores que las de convección, se traza una recta por la parte superior del área de la gráfica, que tiene la siguiente ecuación:

$$h_{ev} = 2,90 \times 10^{-3} \cdot v + 2,17 \times 10^{-3}$$

Reposición

Las transferencias por evaporación conllevan tanto pérdidas energéticas como de masa de agua.

La masa de agua debe ser repuesta, y, dado que su temperatura es inferior a la de la piscina, debe devolverse la temperatura. La energía que conlleva dicha elevación de temperatura puede cuantificarse de la siguiente forma:

$$Q_{rep} = \frac{Q_e \cdot n}{2425,5 \cdot \Delta T}$$

Donde,

Q_{rep} representa las pérdidas energéticas por reposición (kWh/mes)

ΔT es la diferencia de temperatura entre el agua de la piscina y el agua de red (°C)

Pérdidas Totales

Teniendo en cuenta lo anterior, las pérdidas energéticas totales de una piscina al descubierto se representan mediante la suma de las pérdidas individuales descritas. La fórmula es como sigue:

$$Q_{perd} = \sum Q_{cond} + Q_{cv} + Q_{rad} + Q_e + Q_{rep}$$

Se asume que las piscinas carecen de manta térmica, debido a su forma irregular, y, por tanto, a la dificultad que conlleva su colocación diaria.

Ganancias

Las ganancias de la piscina proceden principalmente de la radiación solar que incide sobre la misma.

Las piscinas son buenos captadores de energía, y son capaces de aprovechar una gran parte del calor solar que se les irradia. Para este caso, se asume que el 85% de la radiación horizontal es absorbida, esto es:

$$Q_{gan} = f_s \cdot R_h \cdot d \cdot A$$

Donde,

Q_{gan} es la ganancia energética total de la piscina (kWh/m²)

f_s es el factor de aprovechamiento solar, igual a 0,85

R_h es la radiación solar horizontal incidente sobre la piscina (kcal/día·m²)

d es el número de días del mes

A es el área de la superficie de la piscina (m²)

Calor Total Transferido

El calor total transferido desde la piscina hacia el ambiente equivale a la diferencia entre las pérdidas y las ganancias de calor, calculándose de la siguiente forma:

$$Q_{trans} = Q_{perd} - Q_{gan}$$

Donde Q_{trans} es la energía transferida hacia la piscina desde los alrededores (kWh/mes)

Si realizamos los cálculos descritos con anterioridad para cada mes, se obtienen datos de las pérdidas (o ganancias) energéticas de cada piscina. Haciendo una sumatoria de todas las piscinas obtendremos el valor total de pérdidas (o ganancias) relacionadas con las piscinas.

Se observa cómo los valores obtenidos para las pérdidas de las piscinas se dan en kcal por día y metro cuadrado de superficie. La demanda será, por tanto, igual al valor expresado en Q_{trans} , multiplicado por el número de días de cada mes, y por el área de la superficie de la piscina.

3.2. Cálculos de la Demanda de Frío

Los cálculos de la demanda de frío se han basado en datos de instalaciones existentes.

Calcular la demanda de frío que conlleva refrigerar un hotel es una tarea tediosa y compleja. La realización de un análisis de las cargas térmicas de cada habitación se una instalación sería necesario, además de que habría que hacer lo mismo para cada uno de los cinco hoteles.

Dado que este no es el objeto del presente estudio, se ha buscado una alternativa que se presente fiable y documentada. Para ello, se han obtenido datos de la demanda de frío de diversas instalaciones existentes, ubicadas en las islas de Gran Canaria, Lanzarote, Fuerteventura y Tenerife, facilitados por la empresa Ingeniería Canaria del Ahorro Energético, S.L.

El tratamiento realizado a los datos de partida para obtener un valor de la potencia frigorífica media por cada habitación de hotel es como sigue:

- Primeramente, se suman las habitaciones de cada bloque de los hoteles, para obtener un número total de habitaciones por hotel
- Seguidamente, se toman los datos de la potencia frigorífica que requieren tanto las zonas comunes como las habitaciones, obteniéndose el valor de la potencia de refrigeración total requerida por cada hotel
- Finalmente, se divide la potencia de refrigeración por hotel, entre el número de habitaciones del hotel; de esta manera, se establece un valor para la potencia frigorífica media por habitación.

Simultáneamente, se obtienen de EUROVENT los valores típicos de funcionamiento de las bombas de calor. Dependiendo de la época del año, la instalación demandará una mayor o menor potencia frigorífica, por lo que las bombas de calor deben de ser de carácter variable, respondiendo con distintos niveles de potencia y adaptándose a la demanda. Las tablas mencionadas indican el porcentaje de horas de funcionamiento de una máquina para cuatro diferentes puntos de carga parcial: 25%, 50%, 75% y al 100% de su carga máxima. Esta tabla resulta de gran utilidad a la hora de obtener un valor para el rendimiento (Energy Efficiency Ratio, EER) de la bomba de calor para la generación de frío.

Tabla 3.3. Carga parcial, horas de funcionamiento y EER de la bomba de calor aerotérmica del estudio, TRANE RTAF [21, 23].

Temp. aire exterior	35°C	30°C	25°C	20°C	
Horas función.	3%	33%	41%	23%	
Carga	100%	75%	50%	25%	
EER	2,70	2,88	3,41	4,02	EER
	0,08	0,95	1,40	0,92	3,35

Tabla 3.4. Carga parcial, horas de funcionamiento y EER de la bomba de calor geotérmica del estudio, TRANE RTWD [22, 23].

Temp. ent. agua cond.	30°C	30°C	30°C	30°C	
Horas función.	3%	33%	41%	23%	
Carga	100%	75%	50%	25%	
EER	5,61	6,46	7,52	8,08	EER
	0,17	2,13	3,08	1,86	7,24

Cuanto mayor sea la carga parcial a la que trabaja la máquina, menor será el rendimiento de la misma. Las tablas 3.3 y 3.4, muestran los valores del EER de dos bombas de calor -una condensada por aire y otra condensada por agua- cuando funcionan a las distintas cargas parciales mencionadas. Cabe destacar que la temperatura de condensación será constante para la condensada por agua, mientras que la temperatura de la máquina condensada por aire reflejará la temperatura del aire exterior.

Multiplicando el valor de la potencia de refrigeración por habitación, por el número total de habitación de cada hotel, se obtiene la potencia de refrigeración por hotel. Para obtener el valor de potencia de refrigeración del conjunto de los cinco hoteles, bastará con sumar las potencias de cada hotel individualmente.

La demanda de refrigeración anual se obtiene multiplicando la potencia frigorífica por un número de horas al día (en este caso se asume que funciona 12 horas al día) y por los 365 días que tiene el año. Dado que la bomba de calor no funcionará durante todo el año a su máxima carga, se hace uso de las tablas X y X para estimar el número de horas anuales que la máquina funcionará a cada valor de potencia de refrigeración [24].

Así, el cálculo de la demanda anual de refrigeración queda de la siguiente manera:

$$D_a = \sum P_I \cdot C_p \cdot N_a \cdot t$$

Donde,

D_a es la demanda energética anual de refrigeración (kWh/año)

P_I es la potencia total requerida por la instalación (kW)

C_p es la carga parcial a la que funciona la bomba de calor (tanto por 1)

N_a es el número total de horas de funcionamiento anual (h)

t es el porcentaje del tiempo que la bomba de calor funciona a una cierta carga

Un dato importante a conocer es la demanda de refrigeración de cada mes. Para calcularlo, se multiplica el porcentaje de horas de funcionamiento a cada carga, por el porcentaje de carga parcial respectivo. Posteriormente se suman los cuatro valores (uno asociado a cada carga), estableciendo la carga parcial media a la que funciona la bomba de calor durante todo el año -una carga parcial del 100% se obtendría si la bomba de calor trabajase al 100% de su carga durante el 100% de las horas del año).

Tabla 3.5. Cálculo de la carga parcial media anual de la bomba de calor.

Horas función.	3%	33%	41%	23%
----------------	----	-----	-----	-----

Carga	100%	75%	50%	25%	TOTAL
% del máximo	3%	25%	21%	6%	54%

Atendiendo a la tabla 3.5, el valor de la carga parcial de funcionamiento anual es del 54%. A partir de este dato, se estima la carga parcial a la que funciona cada mes del año, de manera que el promedio de las cargas parciales de cada mes sea igual al 54% estipulado.

La tabla 3.6 muestra la distribución sumida de las cargas parciales, siendo mayores en verano y disminuyendo notablemente durante el invierno, cuando hace menos calor.

Tabla 3.6. Carga parcial media mensual de la bomba de calor estudiada.

MES	Carga parcial media mensual
ENE	25,00%
FEB	34,00%
MAR	45,00%
ABR	51,00%
MAY	59,00%
JUN	66,00%
JUL	75,00%
AGO	83,68%
SEP	77,00%
OCT	60,00%
NOV	41,00%
DIC	30,00%
TOTAL	53,89%

La demanda de refrigeración mensual es, por tanto:

$$D_m = N_m \cdot K_m \cdot P_l$$

Donde,

D_m es la demanda mensual de refrigeración de la instalación (kWh/mes)

N_m es el número de horas al mes de funcionamiento (h)

K_m es el porcentaje de la carga máxima asociado a cada mes

Consumos

Para obtener los consumos, basta con dividir la demanda entre el calor del EER calculado previamente, de la forma siguiente:

$$C_a = \frac{D_a}{EER}$$

Donde,

C_a es el consumo para la generación de frío total (kWh/año)

D_a representa la demanda de frío total (kWh/año)

EER es el rendimiento medio de la bomba de calor

Costes Económicos y Emisiones de CO₂

Los costes, así como las emisiones asociados con el funcionamiento de la bomba de calor, pueden ser fácilmente obtenidos mediante sus correspondientes coeficientes. En este estudio, se asumen los siguientes valores para los coeficientes:

- Coeficiente del coste económico: 0,11 €/kWh
- Coeficiente de emisiones asociadas: 0,811 kg de CO₂/kWh [25]

3.3. Sistema Centralizado Geotérmico

El sistema centralizado geotérmico, tal y como se comenta en la sección de antecedentes, trata de suplir las demandas de calor y de refrigeración simultáneamente, de manera que el calor disipado o extraído del exterior del sistema se reduzca al mínimo posible.

En esta sección, además, se analizan los datos obtenidos en secciones anteriores; por un lado, se hace nota de la demanda energética de producción de ACS y la demanda de climatización, y, por otro, se tiene en cuenta la generación de calor residual de la bomba de calor -producto secundario formado durante el proceso de refrigeración. Estos datos son utilizados para hallar la cantidad de energía recuperable del total de calor residual disponible, de manera que una parte del calor se destine al ACS, otra parte sea utilizada para climatizar las piscinas y la energía restante -en el caso de existan excedentes- deberá ser rechazada a los pozos geotérmicos. Si, en cambio, no existen excedentes, sino que se requiere un aporte de calor adicional, dicho aporte provendrá de los pozos. De esta manera, el sistema de conexionado entre la instalación hotelera y la masa terrestre servirá como equilibrio, al que se vierten los excedentes y del que se extraen los aportes adicionales.

Distribución del Calor Recuperado

Con la finalidad de maximizar el rendimiento de la instalación, se tratará de minimizar la cantidad de calor residual que es desaprovechado, y, por tanto, rechazado a los pozos. Para ello, el primer paso consiste en hallar la proporción entre la cantidad de calor recuperado que se destina a la producción de ACS y la que se emplea en climatizar las piscinas. Este se presenta como un problema mono-objetivo, que trata de minimizar el valor del calor rechazado a pozos.

La metodología del cálculo de la energía rechazada a los pozos es como sigue:

- Al ser este un problema iterativo, es necesario fijar un valor máximo para el porcentaje de la energía residual que se aprovecha para la producción de ACS.
- Una vez fijado el porcentaje de energía residual destinada al ACS máximo, se halla el porcentaje de energía residual restante, y se asume que esa cantidad de energía será empleada en la climatización de las piscinas.
- Únicamente durante algunos meses del año se podrá aprovechar toda la energía residual, normalmente durante el invierno, cuando la cantidad de calor residual disponible es baja, mientras que la demanda de calor es alta. En los meses más calurosos, el calor residual generado tiene valores altos, mientras que la demanda de calor normalmente baja de manera significativa. Por tanto, es posible que, durante los meses de verano, solamente pueda aprovecharse una parte del calor total generado. Con el fin de facilitar la comprensión lectora, se muestra el siguiente ejemplo:
 - Se fija una proporción de aprovechamiento del calor residual para climatizar las piscinas máxima del 60% del calor residual total

- El calor residual total durante el mes de julio es de 1.000 MWh, y la demanda de piscinas para el mismo mes es de 300 MWh
- Únicamente se podrán recuperar 300 MWh de los 1.000 MWh disponibles, es decir, la proporción de aprovechamiento del calor residual para climatizar las piscinas sería, en este caso, el 30% del calor residual total
- El 70% restante se destinará, primeramente, a la producción de ACS; en caso de que la demanda de ACS sea inferior al 70%, habrá que rechazar el calor sobrante a los pozos geotérmicos.
- Lo anterior descrito conlleva que una parte importante del calor residual se rechace a los pozos, por lo que los porcentajes de aprovechamiento del calor residual reales serán distintos de aquellos primeramente estipulados (los máximos, que asumían que el calor residual no sería rechazado en ningún caso).
- Al iterar, los valores de los porcentajes de aprovechamiento del calor residual máximo se varían en busca del valor de calor rechazado mínimo.

Tras diversas iteraciones, se concluye en que el valor mínimo posible de la energía a rechazar a los pozos es de 13.424.416 kWh anuales. Para ello, se fijaron los valores de aprovechamiento del calor residual máximo en 33% para la producción de ACS y en 66% en la climatización de las piscinas.

A continuación, se detalla el método matemático empleado para minimizar la cantidad de calor rechazado a los pozos:

Primeramente, se calcula la cantidad de energía residual recuperada para la producción de ACS.

$$k_{ACS} = 0,6$$

$$Q_{ACS} = k_{ACS} \cdot Q_{RES}$$

Donde,

Q_{ACS} es el calor residual recuperado para la producción de ACS (kWh/mes)

k_{ACS} es el porcentaje de la energía residual aprovechado para la producción de ACS máximo.

Q_{RES} es el calor residual total disponible para el mes i (kWh/mes)

Durante los meses en los que la demanda de calor sea inferior al calor residual disponible, el valor de k_{ACS} no será válido, por lo que se hará uso de un factor que variará, en función de la demanda de calor, tal y como sigue:

Si,

$$Q_{RES} \cdot k_{ACS} > D_{ACS} \rightarrow Q_{ACS} = m_{ACS} \cdot Q_{RES}$$

$$m_{ACS} = \frac{D_{ACS}}{Q_{RES}}$$

Donde,

D_{ACS} es la demanda de producción de ACS para el mes i (kWh/mes)

m_{ACS} es el porcentaje de la energía residual aprovechado para la producción de ACS para el mes i

El mismo procedimiento se aplica para calcular la cantidad de energía residual recuperada para la climatización de piscinas. Se debe tener en cuenta que la k_{ACS} se convierte en k_{PISC} .

$$k_{PISC} = 1 - k_{ACS}$$

Una vez obtenidos los valores de energía residual recuperada tanto para la producción de ACS como para la climatización de piscinas, se procede a calcular la cantidad de energía a rechazar a los pozos geotérmicos.

$$Q_{REC} = Q_{ACS} + Q_{PISC}$$

$$Q_{PISC} = Q_{RES} - Q_{REC}$$

Donde,

Q_{REC} es la cantidad de energía recuperada en el mes i (kWh/mes)

Q_{PISC} es la energía residual recuperada para la climatización de las piscinas del mes i (kWh/mes)

Q_{POZOS} es la cantidad de energía residual que debe ser rechazada para el mes i (kWh/mes)

El siguiente cálculo hace referencia a los valores anuales, tanto de las demandas energéticas de las piscinas y del ACS, como del calor residual disponible.

$$Q_{REC} = Q_{ACS} + Q_{PISC}$$

$$Q_{POZOS} = Q_{RES} - Q_{REC}$$

Finalmente, se halla el porcentaje del calor residual total rechazado a los pozos, variable objetivo de la función. Este punto representa el final de la primera iteración del cálculo del valor del porcentaje de calor residual rechazado a los pozos, sin embargo, se procede a realizar varias iteraciones seguidamente, hasta que el valor mínimo de la variable sea hallado.

$$k_{POZOS} = \frac{Q_{POZOS}}{Q_{REC}}$$

Una vez se obtenga el valor del porcentaje del calor residual total rechazado a los pozos mínimo, se hayan los valores reales de los porcentajes de aprovechamiento del calor residual para la producción de ACS, de la misma manera de la que se muestra en la ecuación sobre estas líneas.

Aporte de Calor para ACS No Recuperado

Una vez se haya recuperado todo el calor posible de las bombas de calor, será necesario tener en cuenta otros métodos de preparación del ACS. Para ello, se dividirá el proceso en dos pasos.

En el primer paso, se hace uso de la bomba de calor geotérmica para elevar la temperatura del agua desde la temperatura de red hasta los 45°C. Para calcular la demanda energética que debe ser cubierta con este método, se calculará el volumen de ACS demandado anualmente (a partir de los cálculos de la sección 3.1.1), y se multiplicará este por la diferencia de temperatura a vencer, por lo que queda de la siguiente forma:

$$D_{P1} = V_{ANUAL} \cdot C_P \cdot \Delta T_{P1}$$

Donde,

D_{P1} es la demanda energética cubierta en el paso 1, kWh.

V_{ANUAL} es el volumen de ACS preparada anualmente, L.

C_P es el calor específico del agua, kW/°C L.

ΔT_{P1} es la diferencia de temperatura entre el agua de red y 45°C.

El segundo paso consiste en la elevación de la temperatura del agua desde los 45°C hasta los 60°C, requeridos para evitar la proliferación de bacterias como la *legionella*, así como para asegurar que ningún huésped de los hoteles estudiados se quede sin agua caliente. En este paso, se hace uso de una segunda bomba de calor, con la singularidad de que esta última se trata de una bomba de calor de alta temperatura, específicamente diseñada para la preparación del ACS. De manera similar al primer paso, la ecuación del segundo paso de preparación del ACS es como sigue:

$$D_{P2} = V_{ANUAL} \cdot C_P \cdot \Delta T_{P2}$$

Donde,

D_{P2} es la demanda energética cubierta en el paso 2, kWh.

V_{ANUAL} es el volumen de ACS preparada anualmente, L.

C_P es el calor específico del agua, kW/°C L.

ΔT_{P2} es la diferencia de temperatura entre los 45°C alcanzados en el primer paso y 60 °C.

Descripción de la Instalación

Teniendo en cuenta lo anterior, la instalación deberá ser capaz de recuperar el calor sobrante cuando se está refrigerando. Además, en el caso de que la instalación no requiera un aporte adicional de calor, este deberá ser rechazado a los pozos geotérmicos.

Por otra parte, dado que se prevé preparar el ACS, será necesaria la instalación de unas bombas de calor de alta temperatura que permitan, como su nombre indica, alcanzar altas temperaturas en los depósitos de acumulación.

Por tanto, la instalación dispondrá de una bomba de calor geotérmica (se asume que dispondrá de una sola, pero podrían ser varias en paralelo) que se conecta, por un lado con un colector de frío, funcionando entre 7 y 12°C, y, por otro, con un colector de calor, que trabaja entre 35 y 40°C. El primero de los colectores servirá para abastecer a los hoteles de agua fría para la climatización, por lo que dispondrá de 5 ramales, uno por cada hotel. El colector de calor, dispondrá así mismo de 5 ramales, que, a la entrada de cada hotel, serán divididos en otros 2 ramales: para las piscinas y para el precalentamiento del ACS. Además, ambos colectores dispondrán de un ramal que se interconectará con el intercambiador de los pozos geotérmicos.

Por el circuito secundario de los pozos geotérmicos discurrirán dos tuberías, una a cada pozo (captación y rechazo) que conectarán los pozos con un intercambiador de calor. Sumergida en el pozo de captación se dispondrá de una bomba que extraiga el agua del subsuelo y la haga fluir por el circuito mencionado. Al hacer contacto con el intercambiador de calor, el agua proveniente de los pozos absorberá o cederá calor, en función de la temperatura del circuito primario.

Por último, la parte de la instalación que se encarga de preparar el ACS dispondrá de una bomba de calor de alta temperatura, que evapore con el circuito del precalentamiento del ACS proveniente de la bomba de calor geotérmica, y que condense entre 60 y 70°C a un circuito de calentamiento de depósitos de acumulación.

Demanda de ACS no cubierta con Calor Recuperado

Una vez se haya aprovechado al máximo la energía residual disponible procedente del funcionamiento de las bombas de calor, es necesario evaluar si la instalación continúa demandando calor o si, por el contrario, no es preciso continuar con la generación de calor. En el probable caso de que la demanda de calor para la producción de ACS de la instalación sea mayor al calor residual disponible, será necesario que se continúe generando calor por otras vías.

La propia bomba de calor, como se ha ido comentando previamente, es capaz de satisfacer una demanda de frío (generando calor residual), así como una demanda de calor (generando frío residual). Con el objetivo de satisfacer la demanda de calor no cubierta con el calor residual de la bomba de calor, se hará uso de la misma bomba de calor, sólo que, en este caso, el calor aprovechado no será del carácter residual.

La limitación principal de la utilización de la bomba de calor geotérmica para la producción de ACS es su baja temperatura máxima de condensación, que ronda los 45-50°C. Por tanto, es necesaria la implementación de un segundo sistema, que eleve la temperatura del agua desde los 45°C hasta los 60°C necesarios para el ACS.

El segundo sistema seleccionado se trata de una bomba de calor de alta temperatura (BCAT). Esta máquina se diseña para ofrecer una diferencia de temperatura entre evaporación y condensación mucho más amplia que el resto de bombas de calor convencionales. Su intercambiador de evaporación se conectará con los pozos geotérmicos, de los que extraerá calor para entregárselo al ACS, con la que se encuentra en el intercambiador de condensación. El cálculo de las cantidades de calor requeridas en cada uno de los pasos mencionados sobre estas líneas, se comenta a continuación.

Primeramente, se ha de comparar la demanda de calor para la producción de ACS con la cantidad de calor residual disponible. Para ello, simplemente se calcula la diferencia entre ambas:

$$Q_{AD} = D_{ACS} - Q_{RES}$$

Donde,

Q_{AD} corresponde al calor adicional requerido (kWh/mes)

D_{ACS} es la demanda de calor total para la producción de ACS (kWh/mes)

Q_{RES} representa la cantidad de calor residual disponible (kWh/mes).

Seguidamente, se procede a dividir el calor adicional requerido entre los dos pasos mencionados. Conociendo el caudal de ACS demandado por la instalación, y sabiendo que el segundo de los pasos (la BCAT) eleva la temperatura del agua 15°C, se calcula la parte del calor adicional que será cubierta por la BCAT.

$$Q_{BCAT} = m \cdot C_p \cdot \Delta T_{BCAT}$$

Donde,

Q_{BCAT} es la parte del calor adicional cubierta por la BCAT (kWh/mes)

m representa el caudal másico de ACS requerido por la instalación (kWh/mes)

C_p es el calor específico del agua, asumido constante (kW/kg °C)

ΔT_{BCAT} diferencia de temperatura generada por la BCAT (°C)

Por último, se halla la cantidad de calor (no residual) que deberá ser aportada por la bomba de calor geotérmica para la preparación de ACS. Para ello, se calcula la diferencia entre el calor adicional requerido y el calor aportado por la BCAT, de la siguiente manera:

$$Q_{BCG} = Q_{AD} - Q_{BCAT}$$

Donde,

Q_{BCG} representa el calor aportado por la bomba de calor geotérmica (kWh/mes)

Simultaneidad de la Demanda

A la hora de dimensionar las máquinas que la instalación requiere, es importante tener en cuenta el factor de simultaneidad, o diversificación, que representa la medida en que las cargas se darán de manera simultánea. Dada la centralización de los cinco hoteles, el factor de simultaneidad de las instalaciones dentro de cada hotel, deberá ser multiplicado por aquel del conjunto de los cinco hoteles.

Cabe destacar que los datos de potencia de refrigeración media obtenidos a partir de la empresa Incanae, ya cuentan con la aplicación de un factor de simultaneidad de 0,7, que tiene en cuenta, como su nombre indica, el grado de simultaneidad que presentan las cargas de refrigeración dentro de cada complejo hotelero individualmente.

También es importante notar que, al centralizar todas las instalaciones en una única, existe un cierto grado de similitud en las curvas de demanda energética de cada hotel. Siempre que la curva de demanda de cada hotel no sea idéntica en todas las instalaciones, se puede hablar de que existe un cierto grado de no simultaneidad. El grado de no simultaneidad en entre hoteles no presenta un valor alto, dado que, por norma general y en base a la experiencia, los clientes suelen realizar las mismas actividades a las mismas horas, independientemente del hotel en el que se encuentren. A pesar de que no sea este un parámetro muy relevante (en este caso particular), se decide tenerlo en cuenta, a fin de aumentar la precisión de los cálculos. Por tanto, se le aplica, a la potencia de la bomba de calor geotérmica, un factor de simultaneidad de 0,9.

3.4. Rendimiento de los Sistemas de Generación

En esta sección se muestra de una manera detallada el rendimiento de cada parte de los dos sistemas estudiados, el convencional y el sistema geotérmico.

3.4.1. El Sistema Convencional

El sistema de generación convencional es al que se trata de sustituir con el método de la geotermia. Este sistema consta, tal y como lo hace el sistema de la geotermia, de una instalación dedicada a la generación de frío y a la generación de calor, que cubra satisfactoriamente ambas demandas. El sistema convencional se divide en dos secciones, la instalación que se dedica a la refrigeración y la instalación que cubre la demanda de calor.

Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración convencional que se estudia para el sistema convencional es el de una planta enfriadora, condensada por aire y sin recuperación de calor. En la sección de metodología, se muestra el EER que se asume para la planta enfriadora convencional, que tiene un valor de 3,35. Esto quiere decir que la planta enfriadora evacuará 3,35 unidades de energía calorífica desde el interior del edificio hacia su exterior, por cada unidad de energía eléctrica que consuma.

Sistema de Generación de Calor

El sistema de generación de calor varía entre tres métodos principales, basados en los sistemas empleados más comunes de las instalaciones existentes, estos siendo los siguientes:

- Sistema 1
 - 70% - Bomba de calor aerotérmica (EER = 2,8)
 - 30% - Caldera de Propano (rendimiento $\eta = 95\%$) [5]
- Sistema 2
 - 100% - Caldera de Propano ($\eta = 95\%$) [5]
- Sistema 3
 - 100% - Caldera de Biomasa ($\eta = 90\%$) [26]

No se considera el método de generación de calor por efecto joule, al no ser muy común entre las instalaciones hoteleras de este tamaño.

A modo de resumen de esta sección se muestra la tabla 3.7, donde se resumen los sistemas de generación a estudiar, así como sus respectivos rendimientos.

Tabla 3.7. Sistemas de generación convencionales y sus rendimientos [26, 5].

Sistema	Método	Distribución	Rendimiento
Refrigeración			
Sistemas 1,2 y 3	Planta Enfriadora	100%	3,35
Calor			
Sistema 1	Bomba de Calor	70%	2,8
	Caldera de Propano	30%	95%
Sistema 2	Caldera de Propano	100%	95%
Sistema 3	Caldera de Biomasa	100%	90%

3.4.2. El Sistema Geotérmico

Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración de esta instalación está formado por una bomba de calor (se asume una bomba de calor única para simplificar los cálculos, pero podrían ser varias). Esta bomba de calor cuenta con un rendimiento medio de 7,24, tal y como se muestra en secciones anteriores. Además, la bomba de calor es capaz de recuperar el calor de condensación durante la generación de frío.

Sistema de Generación Calor

En el caso del sistema geotérmico, la generación de calor se llevará a cabo haciendo uso de dos bombas de calor distintas. La primera de las bombas de calor está conectada a los pozos y tiene la capacidad de recuperar calor; la segunda es una bomba de calor de alta temperatura condensada por agua, que evapora sobre unos 25°C, aprovechando el calor proveniente de los pozos geotérmicos.

La proporción de energía aprovechable frente al consumo eléctrico de una bomba de calor a unas dadas condiciones de operación se define como el “Coeficiente de Operación” o COP, por sus siglas en inglés. El COP depende de la temperatura de entrada del agua procedente del pozo geotérmico, que, a su vez, depende de las condiciones geológicas (parámetros térmicos e hidráulicos del terreno, zona climática) y de parámetros técnicos (profundidad y caudal del pozo, materiales empleados, etc.). Otros factores que afectan el COP de una bomba de calor son la carga

de calentamiento/refrigeración, el tipo de sistema de distribución del agua en el edificio y las temperaturas de suministro [13, 27].

Dado de ambas bombas de calor funcionarán a temperaturas distintas dependiendo de las necesidades, se muestran los rendimientos de cada una de ellas cuando se le somete a cada diferente temperatura de condensación (se asume que las temperaturas de evaporación de ambas bombas de calor permanecerán constantes) en la tabla 3.8.

Tabla 3.8. Temperaturas de evaporación y rendimiento correspondiente de cada BCAT.

Tª de evaporación	Rendimiento
°C	COP
Bomba de Calor Geotérmica	
45	6,34
60	4,43
Bomba de Calor de Alta Temperatura	
60	3,05

4. Resultados

Una vez se haya llevado a cabo la metodología pertinente, se obtiene una serie de resultados, que incluye datos acerca de la demanda de calor y de refrigeración de la instalación, así como del consumo para cubrir dicha demanda, asociado al sistema geotérmica y a cada uno de los sistemas convencionales.

Además, se realiza una comparativa entre el consumo energético, económico y las emisiones de CO₂ de cada uno de los distintos sistemas.

4.1. Resultados de la Demanda de Calor

En esta sección se comentan los resultados obtenidos tras realizar los cálculos descritos anteriormente, relacionados con las demandas de producción de ACS, así como de climatización de las piscinas.

4.1.1. Resultados Demanda ACS

Los cálculos de la demanda energética relacionada con el consumo de ACS de cada hotel se ven reflejada en la tabla 4.1, donde se muestran, de izquierda a derecha, los meses del año, los días de cada mes, la ocupación asociada a cada mes del año, el consumo diario y el consumo mensual, la temperatura del agua de abasto o de red, y la demanda energética, primeramente, sin tener en cuenta las pérdidas de calor hacia el ambiente, y, seguidamente, tomando en consideración estas últimas. Los datos de la tabla 4.1 se corresponden con el Hotel Lopesan Baobab.

Tabla 4.1. Cálculos de la demanda energética asociada con el consumo de ACS del hotel Baobab.

NECESIDADES ENERGÉTICAS ACS							
Mes	Días	Porcentaje Ocupación	Consumo diario	Consumo mensual	Temp. Agua Red	Necesidades Energéticas	Nec. Tot. + pérdidas
		%	lts./día	m ³ /mes	°C	kWh/mes	kWh/mes
ENE	31	100	133400	4135,4	13	226.004,42	259.905,08
FEB	28	100	133400	3735,2	14	199.789,77	229.758,23
MAR	31	100	133400	4135,4	15	216.387,21	248.845,29
ABR	30	100	133400	4002	16	204.753,49	235.466,51
MAY	31	100	133400	4135,4	18	201.961,40	232.255,60
JUN	30	100	133400	4002	19	190.793,02	219.411,98
JUL	31	100	133400	4135,4	19	197.152,79	226.725,71
AGO	31	100	133400	4135,4	19	197.152,79	226.725,71
SEP	30	100	133400	4002	18	195.446,51	224.763,49
OCT	31	100	133400	4135,4	16	211.578,60	243.315,40
NOV	30	100	133400	4002	15	209.406,98	240.818,02
DIC	31	100	133400	4135,4	13	226.004,42	259.905,08
Total	365	100,0	1.600.800,0	48.691,0	16,3	2.476.431,4	2.847.896,1

Se observa cómo la demanda energética asociada al consumo de ACS varía principalmente en función de la temperatura de la red, por lo que durante los meses de invierno es relativamente más elevada que durante los meses de verano. No obstante, la diferencia entre la diferencia entre la temperatura de abasto de invierno (13°C), y la de verano (19°C) es de apenas 6°C, por lo que no representa cambios significativos. Otro factor que causa variaciones a lo largo del año, aunque casi despreciables, es el número de días con los que cuenta cada mes.

La suma de la demanda energética de cada mes es una cifra relativamente elevada, con 2.847.869,1 kWh al mes si se tienen en cuenta las pérdidas a través de las paredes de las tuberías. Se observa que la diferencia entre las pérdidas de calor no son nada despreciables, significando un 15% de la demanda energética total.

Al realizar la suma de todos los hoteles, se obtienen valores que representan la demanda que debería de cubrir la instalación si se fuera a realizar de manera centralizada. La tabla 4.2 muestra las demandas energéticas asociadas al consumo de ACS de manera individualizada -por hotel- así como de manera conjunta en la columna de la derecha. El valor total de la demanda energética se eleva hasta los 15.020.837 kWh al año.

Tabla 4.2. Cálculos de la demanda energética asociada con el consumo de ACS.

Mes	Consumo ACS (kWh/mes)					
	Baobab	Costa Meloneras	Villa del Conde	Gran Canaria	Palace Meloneras	Total
ENE	259.905,08	442.656,93	218.600,83	248.994,52	200.676,34	1.370.833,70
FEB	229.758,23	391.312,37	193.244,93	220.113,21	177.399,53	1.211.828,28
MAR	248.845,29	423.820,47	209.298,66	238.399,01	192.136,92	1.312.500,35
ABR	235.466,51	401.034,42	198.046,05	225.581,86	181.806,98	1.241.935,81
MAY	232.255,60	395.565,77	195.345,42	222.505,74	179.327,79	1.225.000,33
JUN	219.411,98	373.691,16	184.542,91	210.201,28	169.411,05	1.157.258,37
JUL	226.725,71	386.147,53	190.694,34	217.207,99	175.058,08	1.195.833,65
AGO	226.725,71	386.147,53	190.694,34	217.207,99	175.058,08	1.195.833,65
SEP	224.763,49	382.805,58	189.043,95	215.328,14	173.543,02	1.185.484,19
OCT	243.315,40	414.402,23	204.647,58	233.101,26	187.867,21	1.283.333,67
NOV	240.818,02	410.148,84	202.547,09	230.708,72	185.938,95	1.270.161,63
DIC	259.905,08	442.656,93	218.600,83	248.994,52	200.676,34	1.370.833,70
Total	2.847.896,1	4.850.389,8	2.395.306,9	2.728.344,2	2.198.900,3	15.020.837,3

Al analizar la tabla 4.2, se observa que la demanda varía de manera considerable entre unos hoteles y otros. Más concretamente, el Hotel Lopesan Costa Meloneras tiene la mayor de las demandas, con un valor de 4.850.390 kWh, mientras que el hotel RIU Palace Meloneras cuenta con la demanda más pequeña, 2.198.900 kWh, menos de la mitad que el valor máximo.

Los valores de la demanda energética relacionada con el consumo del ACS de los cinco hoteles forman parte de los datos necesarios para el cálculo de

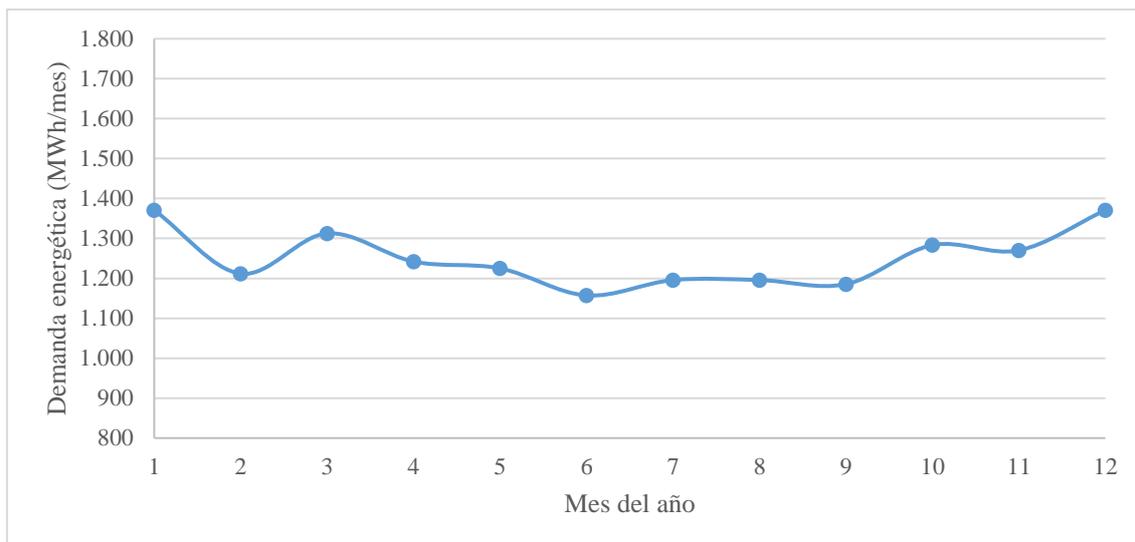


Figura 4.1. Demanda energética asociada con el consumo de ACS de los cinco hoteles.

La figura 4.1. muestra claramente cómo la variación entre la demanda energética máxima y mínima no es de carácter notable; apenas 200.000 kWh es la diferencia energética entre el mes con la mayor demanda, diciembre, con 1.370.833 kWh, y el mes con la demanda energética menor de todas, junio, con 1.157.258 kWh. Esto se traduce en un consumo también relativamente constante, ya que la demanda y el consumo están directamente relacionados.

4.1.2. Resultados de la Demanda Energética de las Piscinas

La cantidad de energía total perdida por los procesos de convección, radiación, evaporación y reposición, así como la ganancia directa, para la piscina número 1 del hotel Lopesan Baobab se muestran en la tabla 4.3. Además, se realiza un balance entre las pérdidas y las ganancias energéticas, dando un valor de la demanda energética diaria y por metro cuadrado de superficie de la piscina, y mostrado en la columna de la derecha.

Tabla 4.3. Pérdidas y ganancias energéticas de la piscina número 1 del hotel Lopesan Baobab.

Mes	Pérdidas energéticas (kWh/día m ²)				Ganancia (kWh/día m ²)	Calor perdido (kWh/día m ²)
	Convección	Radiación	Evaporación	Reposición		
	QC	QR	QE	QM	GD	QT
ENE	2,418	1,857	6,928	0,017	2,916	8,305
FEB	2,056	1,802	6,450	0,016	3,064	7,260
MAR	2,159	1,670	8,174	0,020	4,122	7,902
ABR	2,002	1,648	7,734	0,019	4,458	6,946
MAY	1,863	1,536	8,456	0,021	5,120	6,756
JUN	1,287	1,400	7,239	0,018	5,505	4,439
JUL	0,390	1,146	6,866	0,017	5,831	2,588
AGO	(0,183)	1,006	5,107	0,013	5,337	0,605
SEP	(0,111)	1,017	3,776	0,009	4,359	0,333
OCT	0,681	1,285	4,739	0,012	3,835	2,883
NOV	1,338	1,525	5,752	0,014	3,044	5,585
DIC	1,900	1,747	6,204	0,015	2,510	7,356

Se observa a partir de la tabla, que, a diferencia de los resultados obtenidos para la demanda energética relacionada con la producción de ACS, el calor perdido de la piscina hacia los alrededores varía significativamente de un mes a otro. En este caso, el valor máximo de pérdidas de calor se produce en enero, y equivale a 8,305 kWh por día y metro cuadrado, mientras

que, en el mes de septiembre, las pérdidas globales son mínimas, lo que indica que el ambiente apenas le roba calor a la piscina, a un ritmo de tan solo 0,333 kWh por metro cuadrado y día. Esto sugiere que las piscinas no necesitarían ser climatizadas durante el mes de septiembre de cada año, lo que se traduce en ahorros energéticos.

A pesar de que no es objeto de este estudio, merece la pena analizar las diferencias entre cada tipo de pérdida energética, de manera que se facilite la tarea de hallar soluciones que minimicen dichas pérdidas. Las pérdidas por convección, aumentan ostensiblemente durante el invierno. Esto probablemente se deba en gran medida a que la diferencia de temperatura entre el agua del vaso de la piscina y el ambiente que la rodea aumenta. Se observa cómo, durante los meses de agosto y septiembre, la piscina gana calor por convección, debido a que la temperatura del ambiente supera la temperatura de la piscina.

En cuanto a las pérdidas por radiación, a pesar de que existe una variación entre sus valores durante el verano y el invierno, dicha variación no es tan grande como en el caso anterior. Se entiende, por tanto, que la radiación es un fenómeno que depende en menor medida de la diferencia de temperaturas entre la piscina y los alrededores.

Las pérdidas por evaporación se presentan como las mayores, con una gran diferencia, de todos los tipos de pérdidas. Es interesante analizar cómo los valores de las pérdidas no varían en este caso como lo hacen en los anteriores casos; el valor máximo de pérdidas se encuentra en el mes de mayo, mientras que el menor corresponde al mes de septiembre. La explicación a este fenómeno se debe a que este tipo de pérdidas está intrínsecamente relacionado con la velocidad del viento que sopla, en lugar de la diferencia de temperaturas. Dado que las mayores velocidades de viento se hayan durante el mes de mayo, tiene sentido que este sea el mes con las mayores pérdidas por evaporación (8,456 kWh/día m²). Una solución a este problema podría ser instalar una manta térmica, que evite la evaporación del agua de la superficie, al menos por la noche, durante la cual se tataría la piscina.

Por último, las pérdidas por reposición no representan una cantidad muy importante. Esto se debe a que la diferencia de temperatura entre el agua de la piscina y el agua de la red general, que es la que se debe soportar al reponer el agua perdida por evaporación, no es muy grande.

En cuanto a las ganancias de la piscina por la radiación solar directa, se observa que tiene un punto máximo, de 5,831 kWh/día m², en el mes de julio, mientras que el mes en el que menos cantidad de calor se gana es en diciembre, con un valor de 2,916 kWh/día m².

Para ayudar a comprender de una manera más gráfica las pérdidas totales frente a las ganancias estimadas, se muestra la figura 4.2. En su eje horizontal se observan los meses del año, mientras que en el eje vertical se aprecia el valor, en kWh por día y metro cuadrado, de la transferencia de calor entre la piscina y el ambiente que la rodea.

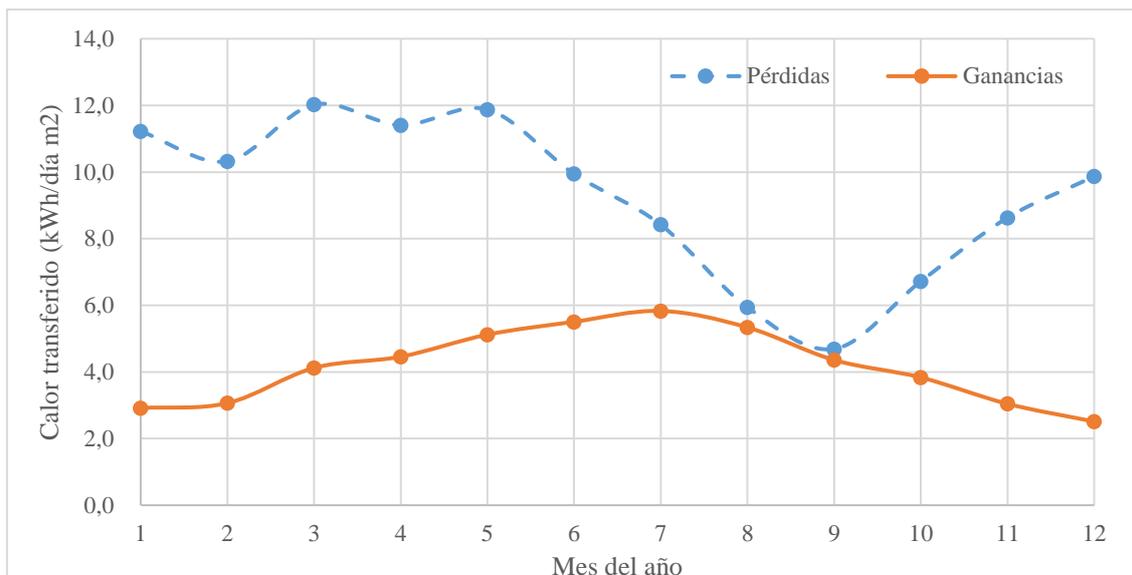


Figura 4.2. Pérdidas y ganancias energéticas de la piscina número 1 del hotel Lopesan Baobab.

Al analizar la figura 4.2, se observa que el valor de las pérdidas totales es bastante más irregular que aquel de las ganancias. En parte se debe a que las ganancias dependen tan solo de la radiación solar, mientras que las pérdidas, tal y como se ha comentado con anterioridad, dependen de múltiples factores. En general, se intuye un patrón tanto en las pérdidas como en las ganancias energéticas. Las pérdidas son mayores durante los meses con más frío, mientras que las ganancias aumentan en los meses más calurosos y soleados.

Una vez analizados los patrones generales que siguen las pérdidas energéticas de las piscinas hacia el ambiente, se procede a evaluar las pérdidas energéticas relacionadas con las piscinas de cada hotel. Cada hotel cuenta con un número determinado de piscinas, así como de una superficie total diferente. La tabla 4.4 resume las pérdidas energéticas de los hoteles individualmente, así como la suma de las pérdidas de cada hotel, en su columna de la derecha.

Es significativa la diferencia entre la demanda asociada a las piscinas del hotel Lopesan Costa Meloneras, siendo este el mayor consumidor de los 5 hoteles, con 11.746.915 kWh/mes, con 6 piscinas de grandes dimensiones, y la demanda de las piscinas del hotel Riu Palace Meloneras, 1.610.398 kWh/mes, de una dimensión mucho menor.

Tabla 4.4. Pérdidas de las piscinas de hoteles individualmente y totalizada.

	Costa Meloneras	Riu Gran Canaria	Villa del Conde	Baobab	Riu Palace Meloneras	Total
	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes
ENERO	1.634.259	252.749	635.208	1.255.869	224.043	4.002.128
FEBRERO	1.290.417	199.572	501.562	991.639	176.905	3.160.096
MARZO	1.554.858	240.470	604.346	1.194.852	213.157	3.807.684
ABRIL	1.322.659	204.558	514.094	1.016.415	181.325	3.239.051
MAYO	1.329.507	205.617	516.756	1.021.678	182.264	3.255.822
JUNIO	845.221	130.719	328.523	649.522	115.872	2.069.858
JULIO	509.337	78.773	197.970	391.407	69.826	1.247.313
AGOSTO	119.052	18.412	46.274	91.487	16.321	291.547
SEPTIEMBRE	63.339	9.796	24.619	48.674	8.683	155.110
OCTUBRE	567.242	87.728	220.477	435.905	77.764	1.389.116

NOVIEMBRE	1.063.503	164.478	413.365	817.263	145.797	2.604.405
DICIEMBRE	1.447.519	223.869	562.625	1.112.366	198.442	3.544.821
TOTAL	11.746.915	1.816.741	4.565.818	9.027.077	1.610.398	28.766.950

Si se compara la demanda energética relacionada con la climatización de las piscinas con la demanda relacionada con la producción de ACS, se sacan dos conclusiones principales:

- La demanda de producción de ACS es significativamente menor durante la gran parte del año, a excepción de los meses de verano, en los que la piscina casi no demanda calor.
- Las fluctuaciones en la demanda energética derivadas de la climatización de las piscinas son mucho mayores que aquellas causadas por la producción de ACS.

Todo ello se traduce en que es vital tener la demanda de climatización de las piscinas en cuenta. Para analizar la curva de la demanda energética derivada de la climatización de las piscinas, se muestra la figura 4.3.

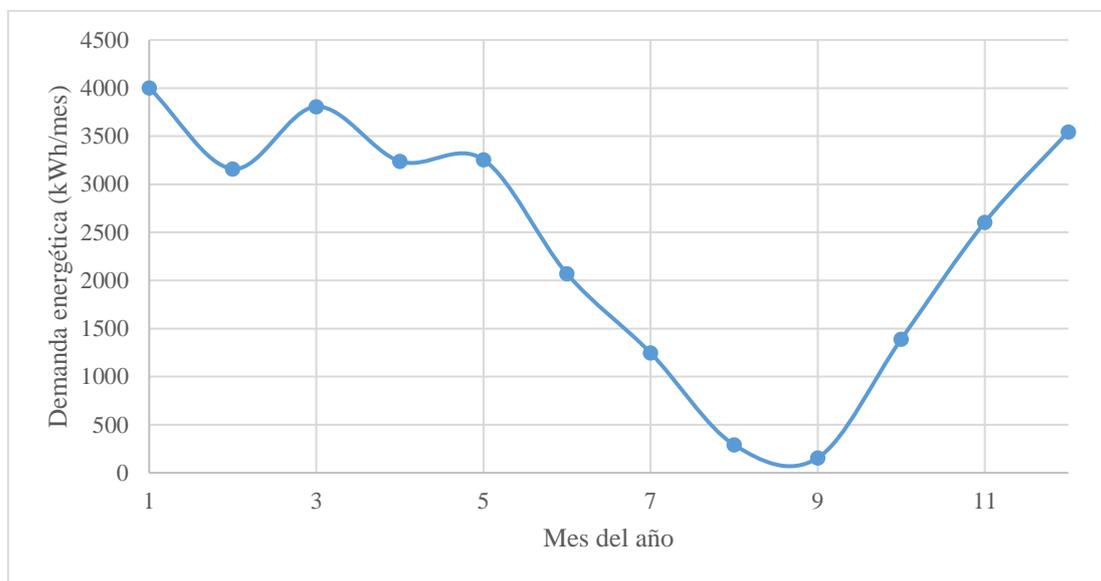


Figura 4.3. Demanda energética relacionada con la climatización de las piscinas de los cinco hoteles.

Es notable cómo la demanda varía entre el mes de enero, cuando tiene un valor de 4.002.128 kWh/mes, y el mes de septiembre, cuando la piscina prácticamente no demanda energía alguna. Se aprecia también una diferencia entre la curva de las pérdidas de la figura 4.2, y la figura 4.3, que viene dada por la ganancia solar. Este factor aumenta la variación de la demanda, ya que la ganancia es mayor cuanto menores son las pérdidas, y viceversa, por tanto, la ganancia es un factor importante a tener en cuenta.

Al estudiar la figura 4.3, puede observarse que, dada la diferencia entre los valores de verano y los de invierno, los equipos de generación de calor van a tener que trabajar a muy distintos regímenes de carga, ya que durante el invierno habrán de suplir una demanda energética muy grande, mientras que en verano solo deberán cubrir la demanda relacionada con el ACS. Tal y como se comentaba en secciones anteriores de este estudio, el factor de simultaneidad puede jugar un papel importante en este aspecto.

Una característica típica de las piscinas es su capacidad de mantener su temperatura prolongadamente en el tiempo, en otras palabras, tienen una inercia térmica muy elevada. Esto significa que las piscinas serán capaces de mantener una determinada temperatura durante un

tiempo considerable, por lo que no habrá que emplear las máquinas en calentar las piscinas durante todo el día, sino solamente unas horas al día. Una correcta organización en la climatización de las piscinas significa que cada piscina se climatizará durante horas distintas del día, por lo que la máquina deberá hacer mucho menos esfuerzo punta (es el esfuerzo máximo en un instante determinado), y se requerirá una potencia de máquina mucho menor gracias a la centralización de la generación.

También cabe destacar la labor que ejercerán los pozos geotérmicos en este aspecto, pues las máquinas que generen calor para climatizar las piscinas durante el invierno serán capaces de generarlo a un rendimiento altísimo, así reduciendo el consumo a nivel muy bajo.

4.2. Resultados de la Demanda de Refrigeración

La demanda de refrigeración se considera igual a la demanda de frío por parte de las habitaciones para su climatización. Durante el verano, la temperatura exterior es mucho mayor que la temperatura interior, por lo que se cede calor desde el exterior hacia el interior del edificio. La bomba de calor geotérmica trata de solventar ese problema absorbiendo el calor de las habitaciones con un fluido caloportador a baja temperatura (sobre unos 7°C). Una vez el calor ha sido extraído de las habitaciones, existen dos procesos mediante los cuales la bomba de calor se deshace de ese calor sobrante. El primero y más común es disiparlo, ya sea al ambiente, como se viene haciendo en las instalaciones convencionales, o a un pozo geotérmico. El segundo de los procesos, y el más eficiente, aprovechar el calor extraído para calentar el ACS o para climatizar las piscinas. De esta segunda manera, se aprovecha cerca del 100% de la energía manipulada.

En esta sección, se analizan los resultados obtenidos al seguir la metodología explicada anteriormente, de manera que se obtenga un valor de la demanda energética derivada de la refrigeración (esta vez hablamos de calor extraído de la instalación, y no de calor cedido a la misma).

Primeramente, se analizan datos históricos de otras instalaciones existentes, a fin de establecer un valor de potencia de refrigeración promedio. Estos datos se muestran en la tabla 4.5.

Tabla 4.5. Datos de la potencia de refrigeración de diversas instalaciones existentes.

		Instalación									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nº habitaciones		253	374	153	398	177	211	187	81	164	96
Potencia Zonas Alojativas	kWf	700	601	419	582	409	253	438	358	438	1135
Potencia Zonas Comunes	kWf	340	601	419	582	409	253	253	192	438	534
Potencia Total	kWf	1040	1202	838	1164	818	506	691	550	876	1669
Potencia general por habitación	kWf/hab	4,10	3,21	5,48	2,92	4,62	2,40	3,70	6,79	5,34	17,4

Se observa cómo el valor de la potencia instalada total de las instalaciones tiene una relación estrecha con el número de habitaciones existentes, de manera que, a mayor número de habitaciones, mayor potencia instalada de refrigeración. También es notable que la proporción entre la potencia instalada de las zonas comunes y las zonas alojativas varía entre el 47% y el 100%, nunca superando este último. Por tanto, la potencia instalada de las zonas comunes es siempre igual o menor que la potencia instalada de las zonas alojativas, y la proporción entre estas dos varía, muy probablemente, entre los espacios comunes a climatizar. Cada hotel tiene una política distinta en cuanto a la distribución y el aprovechamiento del suelo disponible, y por tanto distribuye su potencia de refrigeración de diferente manera.

Los datos de la última fila, correspondientes a la potencia instalada general por habitación (general porque no discrimina entre zonas) varían de manera discreta exceptuando al valor correspondiente a la instalación número 10. Esta instalación está formada por villas individuales, con un volumen relativamente mayor que el de una habitación de hotel estándar, y por tanto requieren de una potencia de refrigeración mucho mayor. Dado que este no es el caso, pues los hoteles estudiados, en su mayoría, cuentan con habitaciones de tamaño estándar, no se tiene en cuenta el dato de la instalación número 10 para los cálculos de la potencia instalada de refrigeración.

Teniendo esto último en cuenta, los valores de la potencia instalada se mantienen en un rango aceptable, siendo la menor potencia instalada 2,40 kWf por habitación, y la mayor 6,79 kWf por habitación. Al hacer la media, se obtiene que:

$$\text{Potencia de refrigeración promedio} = 4,29 \text{ kWf/habitación}$$

Una vez se obtiene el valor de la potencia de refrigeración media por habitación, se calculan las potencias frigoríficas requeridas para cada una de las cinco instalaciones, tal y como se muestra en la tabla 4.6. En esta tabla, se observa que la potencia instalada en las instalaciones es relativamente parecida, en torno a los 2.500 kWf, exceptuando al Hotel Lopesan Costa Meloneras, con una potencia de refrigeración de 4.867 kWf, muy por encima de la media. Cabe destacar el valor de la potencia total de refrigeración, es decir, la suma de los cinco hoteles, siendo este igual a 15.118 kWf.

Tabla 4.6. Datos de las potencias de refrigeración propuestas de los cinco hoteles.

Hotel	Habitaciones	Potencia frigorífica kWf
Villa del Conde	561	2.403
Costa Meloneras	1.136	4.867
Baobab	677	2.901
Riu Gran Canaria	639	2.738
Riu Palace Meloneras	515	2.206
Total		15.118

Una vez se conocen los valores de potencia de refrigeración, se procede a calcular la demanda energética anual de la instalación. Con la intención de refrescar los datos de partida, y para facilitar la comprensión del lector de los datos calculados, la tabla 4.7 muestra los valores dados, con los que se inicia el cálculo.

Tabla 4.7. Datos partida para el cálculo de la demanda energética de refrigeración.

Potencia Frigorífica	15.118	kW
Coste energía	0,11	€/kW
Emisiones	0,811	kgCO ₂ /kWh
Horas uso	4.380	horas/año

Primeramente, se expone el valor de la potencia frigorífica, igual al mostrado en la tabla 4.6, inmediatamente anterior a esta. Seguidamente, se muestra el coste asumido de la energía, así como el valor de emisiones de CO₂ involucradas en cada kWh consumido. Por último, se muestra

el número de horas de funcionamiento al año que se prevén, esto es, 12 horas al día durante los 365 días del año.

Para saber cómo se distribuye la demanda a lo largo del tiempo, es decir, cuántas horas funciona la máquina a cada carga parcial, se muestra la tabla 4.8, donde se observa que la mayor parte del año, la carga parcial de la bomba de calor es igual al 50%, lo que equivale a una potencia de 7.559 kWf, mientras que tan solo el 3% del tiempo -algunos pocos días durante el verano- funciona la máquina al 100% de su carga nominal.

Tabla 4.8. Perfil de demanda de la instalación.

Carga Parcial	Distribución de la carga	Horas	Pot. Frig. (kW)	Demanda (kWh/año)
100%	3%	131	15.118	1.986.527
75%	33%	1.445	11.339	16.388.844
50%	41%	1.796	7.559	13.574.598
25%	23%	1.007	3.780	3.807.509
				35.757.478

Sumando los valores de demanda energética correspondientes a cada carga parcial, se obtiene el valor de la demanda energética total de la instalación al año, con un valor igual a 35.757.478 kWh/año. Este es un valor similar al de la demanda de calor de la instalación, por lo que, en la teoría, podría existir un equilibrio entre ambas demandas, de manera que la energía a disipar o a robar del exterior fuera la menor posible, así maximizando la eficiencia energética.

En la práctica, es necesario conocer la distribución de la demanda de refrigeración con respecto a la época del año. Para ello, se hace uso de la tabla 4.9, que proporciona detalles de la demanda energética de refrigeración mes a mes, así como del calor que la posible energía aportada por la instalación al calentamiento de las piscinas o del ACS.

Tabla 4.9. Perfil de demanda de refrigeración de la instalación.

Mes	Porcentaje de energía aportada respecto a su máximo potencial	Demanda energética de refrigeración (kWh)	Energía aportada por la instalación (kWh)
ENE	25,00%	1.405.989,12	1.631.307,89
FEB	34,00%	1.727.098,90	2.003.877,57
MAR	45,00%	2.530.780,42	2.936.354,21
ABR	51,00%	2.775.694,66	3.220.517,52
MAY	59,00%	3.318.134,33	3.849.886,63
JUN	66,00%	3.592.075,44	4.167.728,55
JUL	75,00%	4.217.967,37	4.893.923,68
AGO	83,68%	4.705.981,45	5.460.145,14
SEP	77,00%	4.190.754,68	4.862.349,98
OCT	60,00%	3.374.373,89	3.915.138,94
NOV	41,00%	2.231.440,80	2.589.043,49
DIC	30,00%	1.687.186,95	1.957.569,47

El valor máximo de refrigeración se da durante el mes de agosto, con 4.705.981 kWh/mes, debido a las altas temperaturas que se dan sobre estas fechas. Por otro lado, la demanda de refrigeración mínima corresponde al mes de enero, con 1.405.989 kWh/mes, como es de esperar, ya que solo el 25% de la potencia posible es aportada.

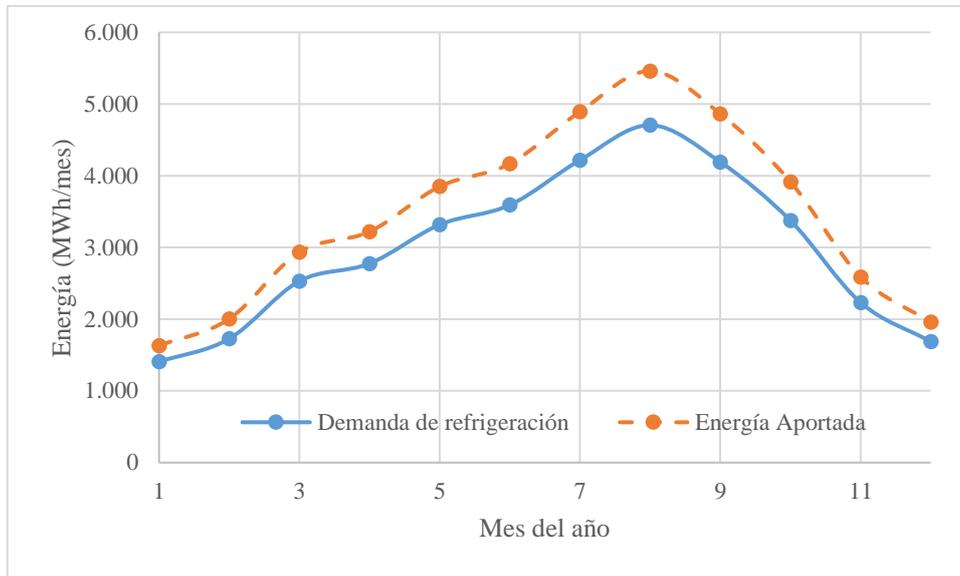


Figura 4.4. Demanda energética de refrigeración y energía aportada a la instalación con respecto al mes.

El perfil de la demanda energética de refrigeración que muestra la figura 4.4 muestra que los valores más significativos se dan en verano, mientras que los valores más bajos son dados durante las épocas invernales. Este patrón se debe a la relación que surge entre la demanda de aire acondicionado, y por ende, de refrigeración, y la temperatura exterior; a mayores temperaturas exteriores, mayor es la necesidad de climatizar los ambientes interiores, a fin de mantener condiciones de confort en el interior de los edificios.

Volviendo al tema discutido antes, y teniendo en cuenta la distribución de la demanda de refrigeración a lo largo del año, será difícil igualar las demandas de calor y de frío de la instalación, ya que, durante el verano se requiere de mucha refrigeración y de poco calor, mientras que en invierno pasa al contrario. Sin embargo, durante las épocas del año en las que el tiempo se encuentra en estado cambiante -esto es, durante la primavera y el otoño-, las demandas de calor y de frío son relativamente similares, por lo que podrán ser aprovechadas para mejorar el rendimiento de la instalación.

4.3. Resultados del Sistema Centralizado Geotérmico

Siguiendo los principios explicados en las secciones anteriores, se trata en la sección presente de hallar los valores del cubrimiento de la demanda requerida con la instalación propuesta. Como primer objetivo, se intenta que la mayor parte del calor recuperado por la bomba de calor al generar frío para la climatización sea aprovechada, ya sea destinado a la producción de ACS, o a la climatización de las piscinas. Visto de otra manera, el calor recuperado que se rechaza a los pozos geotérmicos ha de ser el mínimo posible.

Distribución del Calor Recuperado

Atendiendo a los resultados obtenidos para la demanda energética relacionada con el ACS y con las piscinas, se propone, como objetivo, que una tercera parte del calor recuperado de la bomba de calor sea destinada a la producción de ACS, mientras que las restantes dos terceras

partes se destinen a la climatización de piscinas. Es obvio que estos valores son ideales, pues no todo el calor podría ser recuperado. La figura 4.5 muestra tres curvas muy relevantes, siendo estas la de la demanda de calor por parte del ACS, la demanda de calor para la climatización de las piscinas, y el calor recuperado disponible.

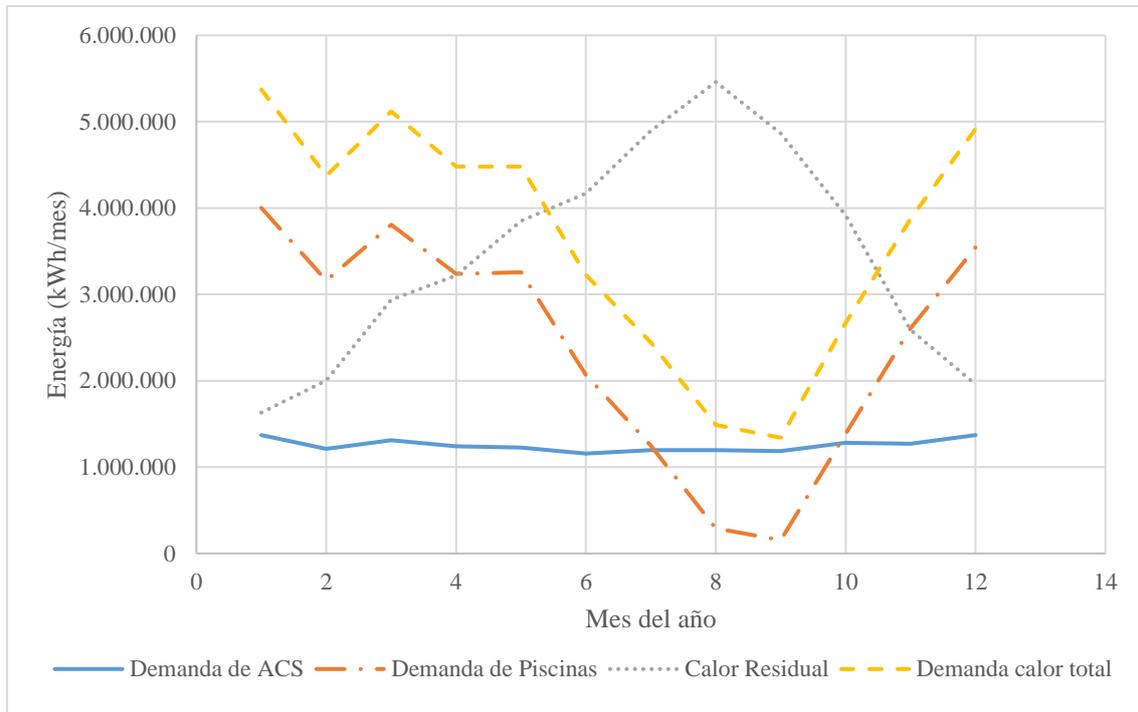


Figura 4.5. Demanda de ACS, demanda de piscinas, Demanda de calor total y Calor residual disponible de la instalación centralizada.

La figura 4.5 muestra cómo el calor residual aumenta durante el verano, mientras que la demanda de calor total disminuye en la misma época. De manera contraria, en invierno, el calor residual es bajo, mientras que la demanda es bastante alta. Por tanto, tan solo cuando la línea de la demanda total de calor se encuentra por encima de la línea del calor residual generado, la instalación requerirá un trabajo extra para cubrir las necesidades de calor (es decir, la instalación no solo trabajará para cubrir la demanda de refrigeración, sino que deberá aumentar su carga parcial para cubrir también la demanda de calor total). Esto quiere decir que, durante una gran parte del año, la bomba de calor no tendrá que trabajar exclusivamente para generar calor o para generar frío, sino que estará trasladando el calor desde el interior del edificio hacia las piscinas y el ACS.

Volviendo al principio de que la tercera parte del calor recuperado sea destinada a la producción de ACS y las otras dos terceras partes se destinen a la climatización de las piscinas, se puede observar que, durante el verano, el calor total recuperado es aproximadamente cinco veces mayor que la demanda total de calor, por lo que, en este caso, no todo el calor podrá ser recuperado. Concretamente, sólo una quinta parte del calor será recuperado, mientras que las restantes cuatro partes deberán ser rechazadas. Es en este punto en el que la geotermia juega un papel importante, ya que permite que la bomba de calor disipe las cuatro quintas partes rechazadas a un foco a baja temperatura, de manera que el rendimiento de la bomba de calor no se vea perjudicado. Los pozos geotérmicos funcionarán durante el verano como un sumidero de calor, donde verter los excesos.

Durante el invierno la demanda de calor supera el calor recuperado disponible. Esto quiere decir que todo el calor disponible es recuperado en la proporción mencionada previamente

(1/3 ACS y 2/3 piscinas). Para cubrir la demanda adicional, la bomba de calor extrae calor de los pozos geotérmicos, y vierte el calor en el ACS y en las piscinas. De esta manera, los pozos geotérmicos funcionarán como una fuente de calor durante el invierno.

La tabla 4.10 muestra la distribución del calor residual disponible, así como la cantidad de calor adicional necesaria para cubrir la demanda durante los meses de más frío.

Tabla 4.10. Recuperación del calor residual generado por la instalación (el mes 1 corresponde a enero).

MES	Demanda ACS	Demanda piscinas	Calor residual disponible	Recuperación para ACS	Demanda ACS sin cubrir	Recuperación para piscina	Demanda sin cubrir para climatización de piscinas	Calor a disipar
	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes	kWh / mes
1	1.370.834	4.002.128	1.631.308	534.722	836.112	1.096.586	2.905.542	0
2	1.211.828	3.160.096	2.003.878	656.846	554.983	1.347.032	1.813.063	0
3	1.312.500	3.807.684	2.936.354	962.499	350.001	1.973.855	1.833.829	0
4	1.241.936	3.239.051	3.220.518	1.055.645	186.291	2.164.873	1.074.178	0
5	1.225.000	3.255.822	3.849.887	1.225.000	0	2.587.943	667.880	36.943
6	1.157.258	2.069.858	4.167.729	1.157.258	0	2.069.858	0	940.613
7	1.195.834	1.247.313	4.893.924	1.195.834	0	1.247.313	0	2.450.777
8	1.195.834	291.547	5.460.145	1.195.834	0	291.547	0	3.972.765
9	1.185.484	155.110	4.862.350	1.185.484	0	155.110	0	3.521.756
10	1.283.334	1.389.116	3.915.139	1.283.333	1	1.389.116	0	1.242.690
11	1.270.162	2.604.405	2.589.043	848.655	421.506	1.740.388	864.017	0
12	1.370.834	3.544.821	1.957.569	641.666	729.167	1.315.903	2.228.917	0
TOTAL	15.020.837	28.766.950	41.487.843	11.942.776	3.078.061	17.379.523	11.387.427	12.165.544

Al analizar la tabla, de derecha a izquierda se encuentran cuatro grupos principales; el primero corresponde a las demandas y el calor residual, resultados obtenidos previamente en este estudio. El segundo grupo es el de la recuperación de calor destinada a la producción de ACS. Se observa cómo la recuperación aumenta hacia la mitad del año y es menor en los primeros y últimos meses, lo que conlleva que la demanda de ACS sin cubrir sea mayor en los meses con menos recuperación, y se iguale a cero durante los meses de verano, donde todo el calor es recuperado. Siguiendo con los grupos de columnas, el tercero se corresponde con la recuperación para la climatización de piscinas. Un fenómeno distinto al del ACS se produce en este caso, y es que, la recuperación no solo no aumenta en verano, sino que disminuye. Esto se debe a que las piscinas tienen la particularidad de que su demanda en épocas de verano disminuye, por lo que el calor residual simplemente no puede ser aprovechado. No obstante, la demanda sin cubrir en invierno de las piscinas (2.905.542 kWh/mes) es mayor que la de la producción de ACS (836.112 kWh/mes), lo que vuelve a estar relacionado con las fluctuaciones en la demanda de las piscinas, que aumentan considerablemente durante el invierno. Por último, el cuarto grupo es el del calor residual a disipar, y, como es de esperar, se disipa calor únicamente cuando sobra, que viene siendo cuando más calor hay (esto es durante mediados de año). El valor máximo de calor residual que tiene que ser disipado a pozo se da lugar en el mes de agosto, y equivale a 3.972.765 kWh/mes.

Para resumir esta sección, se analiza la tabla 4.11, donde se muestra la distribución generalizada del calor residual. Se observa como el resultado final de la distribución del calor

dista del objetivo inicial, ya que, el porcentaje del calor recuperado destinado a las piscinas es del 41,89%, y el calor recuperado para la producción de ACS es de 28,79%, mientras que el calor que ha de ser disipado alcanza el 29,32%. Estas diferencias con los objetivos iniciales, que marcaban que una tercera parte del calor se destinaría al ACS, y las dos restantes se destinarían a la climatización de las piscinas, se deben principalmente a que el calor residual no se distribuye a lo largo del año de la misma manera que lo hace la demanda total de calor, sino que lo hace de manera opuesta. No obstante, se debe hacer hincapié en que se obtiene una recuperación del 71,21% del calor residual disponible, lo que quiere decir que la demanda total de calor se reduce en nada menos que 29.543,5 MWh al año.

Tabla 4.11. Distribución de la recuperación del calor residual generado por la instalación.

	Energía (kWh/año)	Porcentaje del total
Calor de condensación	41.487.843,30	-
Calor recuperado para ACS	11.942.776,04	28,79%
Calor recuperado para Piscinas	17.379.523,04	41,89%
Calor rechazado a pozos	12.165.544,23	29,32%

Aporte de Calor para ACS No Recuperado

Tal y como se menciona previamente, no toda la demanda de calor puede ser suplida únicamente con el calor recuperado, sino que la instalación deberá generar un aporte adicional de calor. El aporte adicional del calor que se debe de aportar se obtiene de la tabla 4.10, sumando los valores de la demanda de ACS sin cubrir de cada mes, con un valor total de 3.078.061 kWh anuales.

Siguiendo el método establecido previamente, se calcula que, como promedio, 24,1 litros de los 100 que se estiman por usuario y día deben de calentarse con otro método que no sea aprovechando el calor residual de la bomba de calor. Se recuerda, que dicho aporte de calor se plantea en tres pasos, siendo estos:

- Paso 1: 100% del agua desde T^a de red hasta los 45°C con la bomba de calor geotérmica
- Paso 2: El 85% del volumen de agua se eleva de los 45°C a los 60°C con la bomba de calor geotérmica (BCG)
- Paso 3: El restante 15% del volumen de agua se sube de los 45°C a los 60°C con una bomba de calor de alta temperatura (BCAT)

Siguiendo estos pasos, se hallan los valores de energía requerida en cada paso, que en total deberán sumar la demanda de calor sin cubrir por el calor recuperado. La tabla 4.12 resume los valores de energía requerida para cada uno de los pasos.

Tabla 4.12. Energía requerida para la producción de ACS asociada a cada etapa.

Etapas	Energía requerida (kWh/año)
Paso 1	1.996.775
Paso 2	919.093
Paso 3	162.193
Total	3.078.061

El mayor valor de energía requerida corresponde al paso 1 (1.996.775 kWh/año), que conlleva elevar el 100% del agua a un salto térmico relativamente grande. Por otra parte, la menor

cantidad de energía es la consumida por la bomba de calor de alta temperatura (162.193 kWh/año), ya que se ocupa de un porcentaje muy bajo del total de la demanda.

Para esquematizar todo lo anterior, y a forma de conclusión de la parte de producción de ACS, se muestra la tabla 4.13, que resume los métodos de generación utilizados para cubrir esta demanda. La primera fila muestra el total de la demanda de ACS, y cómo se cubre; la segunda, muestra la cantidad de demanda cubierta con el calor residual de la bomba de calor geotérmica. Por otra parte, la tercera fila señala la cantidad de demanda que proviene de fuentes de energía renovables y la última, la demanda que se cubre con energía convencional. La proporción entre la cantidad de energía procedente de fuentes renovables y la energía procedente de fuentes convencionales dependerá del rendimiento energético de las bombas de calor empleadas. Cabe destacar que, atendiendo a la columna más hacia la derecha, tan solo el 3,8% de la energía empleada para la producción del ACS es de origen no renovable.

Tabla 4.13. Métodos empleados para cubrir la demanda de ACS y su fuente de energía primaria.

	Demanda ACS (kWh)	Calor residual (kWh)	Calor con BCG a 45°C (kWh)	Calor con BCG a 60°C (85% Vol.) (kWh)	Calor con BCAT a 60°C (15% Vol.) (kWh)	Balance (kWh)	Balance Final
Demanda ACS	15.020.837	11.942.776	1.996.775	919.093	162.193		
Residual		11.942.776				11.942.776	79,5%
Renovable			1.681.846	711.520	108.928	2.502.293	16,7%
<i>Convencional</i>			314.929	207.573	53.265	575.768	3,8%

Aporte de Calor para Piscinas No Recuperado

De manera similar a la anterior, se procede a obtener los resultados de los métodos empleados para cubrir la demanda energética derivada de la climatización de las piscinas. En este caso, y debido a que la diferencia de temperatura entre el agua de red y la de las piscinas es relativamente baja, solamente se realizará un paso a la hora de cubrir la demanda energética.

A partir de la tabla 4.14, tal y como se realiza en la sección anterior, se obtiene el valor de demanda energética no cubierta con el calor residual, siendo este 8.820.711 kWh/año.

Tabla 4.14. Demanda de calor de piscinas, y energía suministrada.

Demanda piscinas	24.941.362 kWh
Calor residual recuperado	16.120.651 kWh
Resto sin cubrir	8.820.711 kWh

Se observa que, en este caso, alrededor de dos terceras partes de la demanda energética se cubren haciendo uso del calor residual generado por la bomba de calor geotérmica, mientras que la otra tercera parte ha de ser aportada por calor no residual. A pesar de que parte del calor no sea de carácter residual, una gran parte de la energía suministrada por la bomba de calor en forma de calor es de origen renovable, por lo que la gran mayoría de la energía total suministrada a las piscinas no promueve el calentamiento global.

La tabla 4.15 muestra un balance energético similar al que se realiza en la tabla 4.13, con la diferencia de que analiza la demanda de las piscinas en lugar de la del ACS. La distribución de las filas de las tablas es idéntica en ambas con la demanda de las piscinas en la primera fila,

seguida de la energía asociada a cada tipo de generación, dependiendo de su fuente primaria (residual, renovable y convencional).

Tabla 4.15. Métodos empleados para cubrir la demanda de piscinas y su fuente de energía primaria.

	Demanda ACS (kWh)	Calor residual (kWh)	Calor con BCG a 35°C (kWh)	Balance (kWh)	Balance Final
Demanda Piscinas	28.766.950	17.379.523	11.387.427		
Residual		17.379.523		17.379.523	60,4%
Renovable			9.933.799	9.933.799	34,5%
<i>Convencional</i>			<i>1.453.627</i>	<i>1.453.627</i>	5,1%

En la tabla 4.15 se observa cómo el 60,4% de la demanda se cubre con calor recuperado, mientras que el restante 39,6% se cubre mediante el empleo de la bomba de calor geotérmica. Dentro del 39,6% que no se cubre con el calor residual, el 34,5% es renovable, y el restante 5,1% proviene de fuentes de energía convencionales. Una vez más, la proporción entre la energía renovable y la energía convencional depende del rendimiento energético para la producción de calor de la bomba de calor.

4.4. Comparativa de Consumo Energético entre Sistemas de Generación

El objetivo de esta sección es el de mostrar las diferencias entre el consumo de la misma instalación con un sistema de generación geotérmico frente a los sistemas de generación convencionales comentados en secciones previas. Para ello, primeramente, se analizarán los consumos energéticos de los sistemas convencionales, y, seguidamente, se estudiará el consumo de la instalación geotérmica. Finalmente, se procederá a hacer una comparativa entre los consumos energéticos de ambas instalaciones.

4.4.1. Instalaciones Convencionales

Primeramente, se hará un análisis del consumo energético dedicado a la generación de frío para la climatización de las instalaciones. El consumo energético dependerá fundamentalmente de dos factores: la demanda energética y el rendimiento de la máquina de generación. La tabla 4.16 resume los valores de consumo de refrigeración de las instalaciones convencionales.

Tabla 4.16. Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de frío para las instalaciones convencionales.

Demanda anual	Rendimiento	Consumo eléctrico
kWh/año	EER	kWh/año
35.757.478	3,35	10.660.827

Se trata de un consumo energético considerable, aunque, teniendo en cuenta que se trata del consumo energético de cinco hoteles de los hoteles más grandes de la isla de Gran Canaria, sería razonable emplear 10.660.827 kWh eléctricos al año en climatizar el interior de los edificios.

Una vez tratado el consumo eléctrico dedicado a la generación de frío de las instalaciones convencionales, se procede a calcular el consumo empleado en la generación de calor. Al igual que en el caso anterior, los valores que se obtengan dependerán primordialmente de la demanda y del rendimiento de las máquinas empleadas. En el caso de la generación de calor, existen tres sistemas alternativos convencionales que se estudian en este trabajo; le primer sistema de generación y sus respectivos consumos se muestran en la tabla 4.17. Se deduce de la tabla un consumo eléctrico anual de 8.498.632 kWh, bastante reducido, gracias a la acción colectiva de la bomba de calor y a los paneles solares.

Tabla 4.17. Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 1 de los convencionales.

	Demanda anual	Rendimiento	Consumo
Sistema 1	kWh/año	EER / %	kWh/año
Producción de ACS			
Bomba calor con recuperación (70%)	10.514.586	2,80	3.755.209
Caldera propano (30%)	4.506.251	95%	4.743.422
Climatización de Piscinas			
Paneles Solares	28.766.950	-	-
Total del Sistema	43.787.787		8.498.632

Seguidamente, se analiza el consumo de la instalación con el segundo de los sistemas de generación de calor convencionales. La tabla 4.18 muestra los cálculos del consumo eléctrico de la misma. En este caso, se observa un consumo energético mucho mayor que en el sistema de generación anterior, de 17.671.573 kWh eléctricos al año.

Tabla 4.18. Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 2 de los convencionales.

	Demanda anual	Rendimiento	Consumo
Sistema 2	kWh/año	EER / %	kWh/año
Producción de ACS			
Caldera propano (100%)	15.020.837	95%	15.811.408
Climatización de Piscinas			
Paneles Solares	28.766.950	-	-
Total del Sistema	43.787.787		15.811.408

Por último, se analiza el tercero de los sistemas de generación de calor convencionales, que cuenta con una caldera de biomasa que cubre el 100% de la demanda de ACS y paneles solares cubriendo la demanda de climatización de las piscinas. En la tabla 4.19 se puede observar el consumo eléctrico de este sistema de generación de calor, que, debido al menor rendimiento de la caldera de biomasa con respecto de la de propano, es el mayor de entre los tres sistemas. Con 18.776.047 kWh eléctricos al año.

Tabla 4.19. Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema 3 de los convencionales.

	Demanda anual	Rendimiento	Consumo
Sistema 3	kWh/año	ESEER / %	kWh/año
Producción de ACS			
Caldera biomasa (100%)	15.020.837	90%	16.689.819
Climatización de Piscinas			
Paneles Solares	24.941.362	-	0
Total del Sistema	39.962.200		16.689.819

4.4.2. Instalación Geotérmica

Tal y como se hace para la instalación convencional, se procede a calcular el consumo de la parte de generación de frío de la instalación geotérmica, para posteriormente estudiar el consumo de la instalación de generación de calor.

En este caso, el rendimiento de la instalación se sitúa cercano al doble del rendimiento de la instalación convencional, con un EER de 7,24, por lo que el consumo derivado de la refrigeración obtenido es de 4.938.878 kWh eléctricos al año. La tabla 4.20 muestra el consumo de la instalación geotérmica para la refrigeración.

Tabla 4.20. Consumo eléctrico anual en la generación de frío para la instalación geotérmica.

Demanda anual	Rendimiento	Consumo
kWh/año	EER	kWh/año
35.757.478	7,24	4.938.878

Seguidamente, se procede al cálculo de la generación de calor de la instalación geotérmica, que, en el caso del ACS, se divide en los 4 pasos mostrados en la tabla 4.21, y en el caso de la climatización de piscinas, se divide en otros dos pasos. Se observa cómo el consumo eléctrico del sistema geotérmico equivale a un 4% de del valor de la demanda de calor, por lo que es realmente eficiente.

Tabla 4.21. Demanda, rendimiento y consumo eléctrico anual en la generación de calor del Sistema Geotérmico.

	Demanda anual	Rendimiento	Consumo
Sistema Geotérmico	kWh/año	EER / %	kWh/año
Producción de ACS			
Calor Residual	11.942.776	-	0
BCG hasta los 45°C	1.996.775	6,34	314.929
BCG hasta los 60°C	919.093	4,43	207.573
BCAT hasta los 60°C	163.193	3,05	53.265
Climatización de Piscinas			
Calor Residual	17.379.523	-	0
BCG hasta los 35°C	11.387.427	7,83	1.453.627
Total del Sistema	43.787.787		2.029.035

4.4.3. Comparativa entre los Sistemas

La comparativa, en primer lugar, se realiza en base a los sistemas de generación de frío de ambas instalaciones. La figura 4.6 muestra gráficamente las diferencias entre los consumos de los diferentes sistemas, pudiéndose observar en ella que el consumo de la instalación geotérmica es prácticamente la mitad del consumo energético de la instalación convencional. Esta diferencia de 5.721.948 kWh eléctricos al año supone unos ahorros en la refrigeración del 54%, un dato nada despreciable.

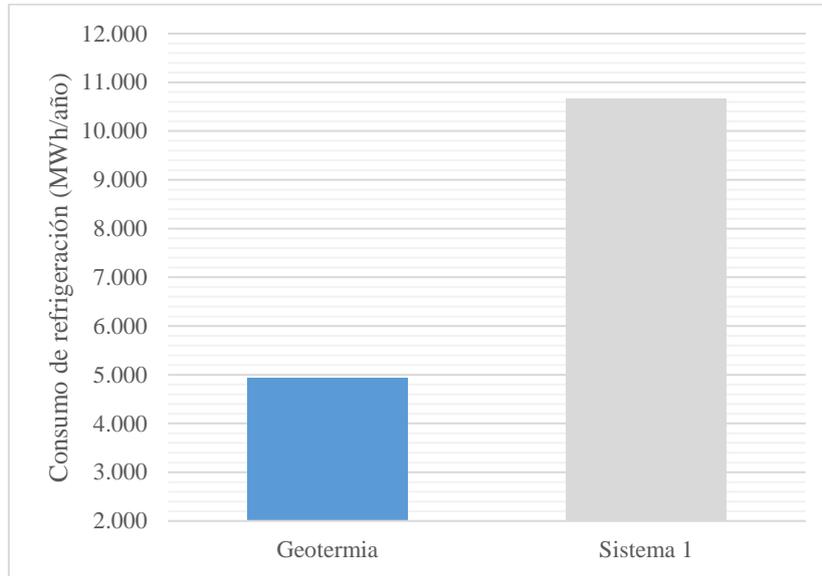


Figura 4.6. Consumos energéticos de refrigeración del sistema convencional y geotérmico.

La segunda comparativa que se realiza en este estudio es la de la generación de calor, que se divide en cuatro sistemas distintos –el sistema geotérmico y los 3 sistemas convencionales. Se observa en la figura 4.7, cómo el consumo del sistema geotérmico es notablemente inferior al consumo de cualquiera de los otros tres sistemas. También es importante observar el amplio margen de variación que presentan los sistemas convencionales, que se ha querido reflejar en este estudio con el fin de realizar unas comparativas verídicas y fundamentadas.

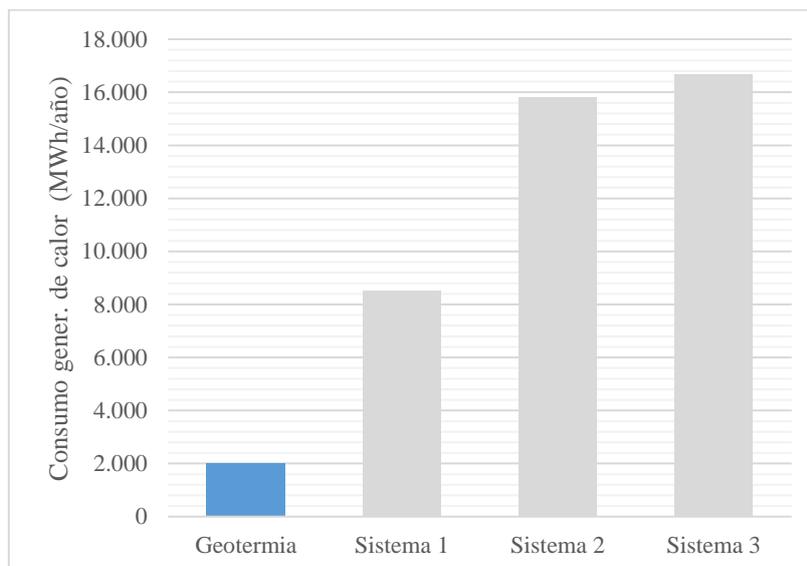


Figura 4.7. Consumos energéticos de calor del sistema geotérmico y los sistemas convencionales.

Por último, se estudian las diferencias entre los consumos totales de las instalaciones en cuestión. Para ello, se realiza la sumatoria de ambos consumos, el de generación de frío y el de generación de calor.

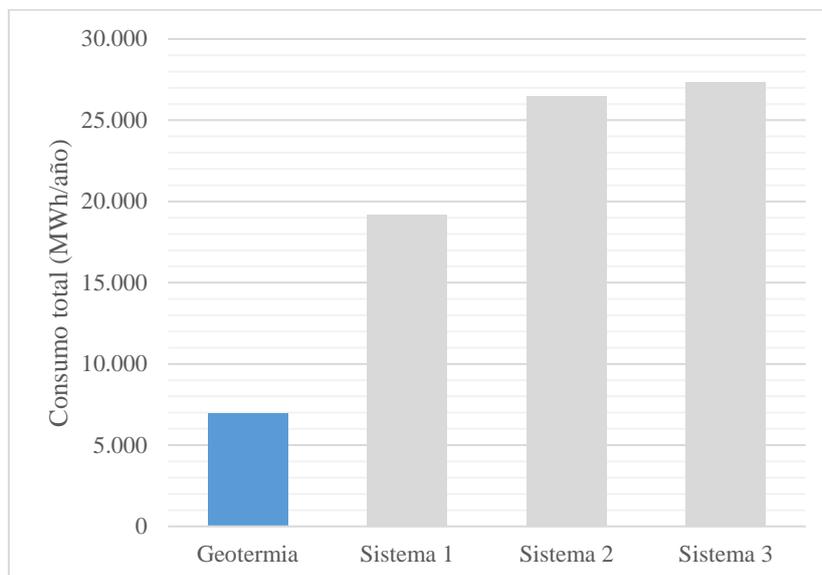


Figura 4.8. Consumos energéticos totales del sistema geotérmico y los sistemas convencionales.

Tal y como era de esperar teniendo en cuenta las figuras anteriores, se muestra, en la figura 4.8, que el consumo del sistema geotérmico es muy inferior al de los sistemas convencionales. Tanto es así, que el consumo de la instalación de geotermia es tres veces menor que el consumo del Sistema Convencional 1, el más eficiente de entre los convencionales. De la misma manera, cabe destacar que, con una demanda de 79.545 MWh anuales, el sistema geotérmico consume tan solo 6.968 MWh al año para suplirla, esto es un consumo que no representa ni el 9% de la demanda. El sistema convencional 1, el siguiente con menor consumo, requiere de 19.159 MWh al año para suplir la demanda, y el consumo energético de los otros dos sistemas convencionales se sitúa muy por encima del consumo del sistema geotérmico, con valores de 26.472 y 27.351 MWh anuales.

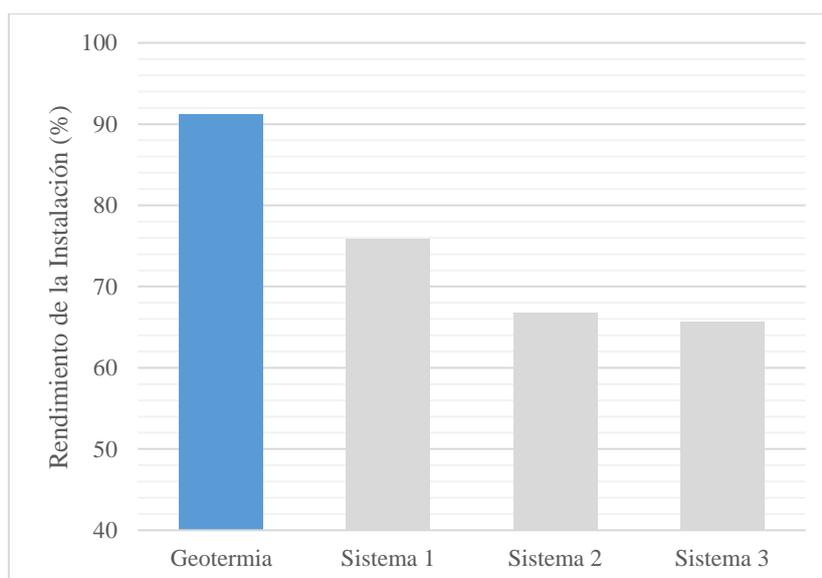


Figura 4.9. Rendimiento de la generación energética del sistema geotérmico y de los sistemas convencionales.

La figura 4.9 muestra el rendimiento de los cuatro sistemas estudiados; esto representa la eficiencia con la que se generan calor y frío, o cuánto se consume para suplir una determinada demanda. Una vez más, el sistema geotérmico, con un rendimiento superior al 90%, se sitúa por encima de sus rivales, aumentando el rendimiento energético en alrededor de un 16% sobre el sistema de mayor rendimiento de los sistemas convencionales. Pero, si se compara el sistema geotérmico con los sistemas convencionales 2 y 3, se obtiene un aumento del rendimiento del 26%, cifra que representa un ahorro energético muy considerable, dadas las características de la instalación.

4.5. Comparativa Económica y de Huella Ecológica

Además de la comparativa de consumo energético entre las diferentes instalaciones, en el estudio se lleva a cabo un pequeño análisis de los ahorros potenciales que conlleva una instalación geotérmica en comparación con las instalaciones convencionales. Cuando se habla de ahorro, se refiere tanto al ahorro económico como al ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera -en concreto de anhídrido carbónico.

4.5.1. Comparativa Económica

Primeramente, se lleva a cabo el estudio económico de las diferentes instalaciones, mostrando los costes operacionales (sin tener en cuenta los costes ajenos al del consumo energético, pues se asume que permanecen constantes para todos los sistemas de generación) asociados a cada uno de los distintos sistemas, para, posteriormente, calcular los ahorros generados. Las tablas 4.22, 4.23 y 4.24 muestran los costes asociados con los tres sistemas convencionales, de las que se puede observar que el coste operacional del sistema convencional 1 es de 2.285.492 € al año, el del sistema convencional 2 es de 3.505.119 € por año y el del sistema convencional 3 es de 2.229.254 € anuales. Las diferencias principales radican en dos factores: el consumo energético y el precio de la fuente de energía. El sistema convencional 1 tiene una demanda energética menor que la de los otros dos sistemas convencionales, por lo que sus costes operacionales deberían ser notablemente menores. Sin embargo, como el precio de la biomasa es alrededor de la mitad del precio de la energía eléctrica, los costes operacionales del sistema convencional 3 son muy similares a los del sistema convencional 1.

Tabla 4.22. Costes operacionales y emisiones de CO₂ del sistema convencional 1.

Sistema Convencional 1	Demanda anual (kWh)	Rendimiento	Consumo anual (kWh)	Costo anual energía (€)	Emisiones (kg/CO ₂)
Aire acondicionado					
Plantas enfriadoras Agua/Aire	35.757.478	3,35	10.660.827	1.172.691 €	8.645.930
ACS					
Bomba de Calor	10.514.586	2,80	3.755.209	413.073 €	2.951.595
Caldera de propano (30%)	4.506.251	95%	4.743.422	626.073 €	1.124.191
Climatización de piscinas					
100% renovable	28.766.950	-	-	- €	-
TOTAL	79.545.265		19.159.458	2.211.837 €	12.721.716

Tabla 4.23. Costes operacionales y emisiones de CO₂ del sistema convencional 2.

Sistema Convencional 2	Demanda anual (kWh)	Rendimiento	Consumo anual (kWh)	Costo anual energía (€)	Emisiones (kg/CO ₂)
Aire acondicionado					
Plantas enfriadoras Agua/Aire	35.757.478	3,35	10.660.827	1.172.691 €	8.645.930
ACS					
Caldera de propano	15.020.837	95%	15.811.408	2.086.909	3.747.304
Climatización de piscinas					
100% renovable	28.766.950	-	-	- €	-
TOTAL	79.545.265		26.472.234	3.259.600 €	12.393.234

Tabla 4.24. Costes operacionales y emisiones de CO₂ del sistema convencional 3.

Sistema Convencional 3	Demanda anual (kWh)	Rendimiento	Consumo anual (kWh)	Costo anual energía (€)	Emisiones (kg/CO ₂)
Aire acondicionado					
Plantas enfriadoras Agua/Aire	35.757.478	3,35	10.660.827	1.172.691 €	8.645.930
ACS					
Caldera de biomasa	15.020.837	90%	16.689.819	1.001.389	0
Climatización de piscinas					
100% renovable	28.766.950	-	-	- €	-
TOTAL	79.545.265		27.350.646	2.174.080 €	8.645.930

También es objeto del estudio analizar los costes operacionales del sistema geotérmico, a fin de compararlos con los sistemas convencionales descritos. La tabla 4.25 muestra cómo el coste operacional asociado a la generación energética de la instalación geotérmica es de 766.510€. Esta es una cifra bastante inferior a las mostradas para los sistemas convencionales en las tablas anteriores.

Tabla 4.25. Costes operacionales y emisiones de CO₂ del sistema geotérmico.

OPCIÓN GEOTERMIA:	Demanda anual (kWh)	Rendimiento	Consumo anual (kWh)	Costo anual energía (€)	Emisiones (kgCO ₂ /año)
Aire acondicionado					
Plantas enfriadoras Agua/Agua	35.757.478	7,24	4.938.878	543.277	4.005.430
ACS					
Calor residual	11.942.776	-	-	-	-
B.C. geotérmica hasta 45°C	1.996.775	6,34	314.929	34.642	247.534
B.C. geotérmica hasta 60°C	919.093	4,43	207.573	22.833	163.153
B.C. Alta Temp. Hasta 60°C	162.193	3,05	53.265	5.859	41.867
Climatización de piscinas					
Calor residual	17.379.523	-	-	-	-
B.C. geotérmica hasta 35°C	11.387.427	7,83	1.453.627	159.899	1.142.551
TOTAL	79.545.265		6.968.273	766.510 €	5.600.535

Con el fin de ilustrar las diferencias entre los costes operacionales asociados a cada distinto sistema de generación, se muestra la figura 4.10.

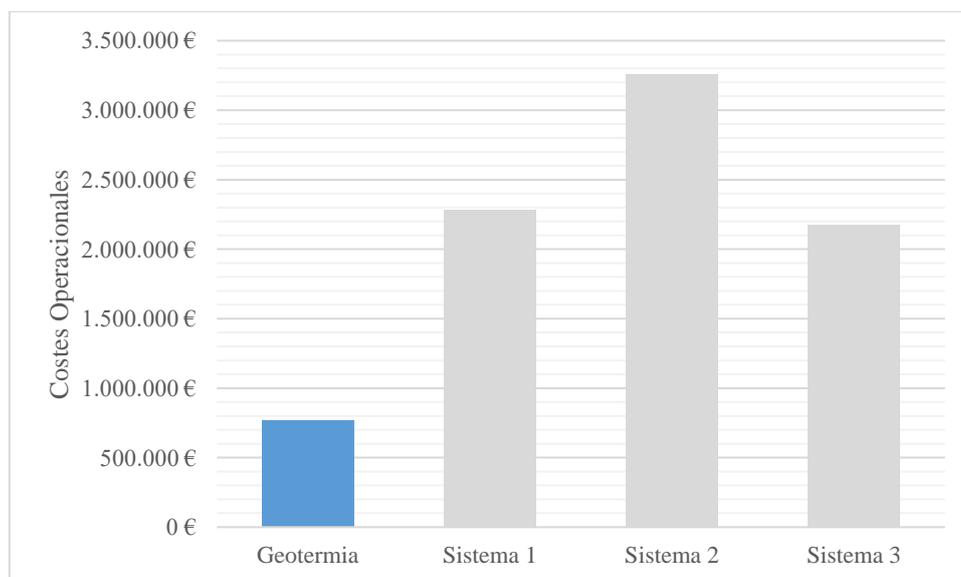


Figura 4.10. Costes operacionales asociados a cada sistema de generación.

En la figura 4.10 se pueden observar las diferencias en cuanto a los costes asociados a la generación de energía, entre el sistema geotérmico y los sistemas convencionales. La menor diferencia entre el sistema geotérmico y los sistemas convencionales radica en el sistema 1, representando un valor de 1.407.570 € al año. Por otro lado, la mayor de las diferencias se halla al comparar el sistema geotérmico con el sistema convencional 2, pues el precio del propano se encuentra bastante elevado; en este caso, los ahorros económicos se encuentran en 2.493.090 € anualmente.

A modo de resumen, se comenta que los costes operacionales asociados al sistema geotérmico representan entre una 24% y un 33% de los costes operacionales asociados a los sistemas convencionales.

4.5.2. Comparativa de Emisiones

Atendiendo a las tablas 4.23, 4.24 y 4.25, mostradas previamente en esta sección, se observa que las diferencias entre las emisiones de dióxido de carbono entre unos sistemas y otros son bastante amplias. No obstante, el menor valor de emisiones corresponde al sistema geotérmico. Los valores del ahorro en emisiones que representa el sistema geotérmico en comparación con los sistemas convencionales se muestran en la tabla 4.26, con el objeto de facilitar la comprensión del lector.

Tabla 4.26. Ahorros asociados a los costes operacionales y emisiones de CO₂ del sistema geotérmico.

Sistemas de Generación	Ahorro energético (kWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Ahorro en Emisiones (kgCO ₂ /año)
Sistema Convencional 1	12.191.185	1.445.327 €	7.121.181
Sistema Convencional 2	19.503.961	2.493.090 €	6.792.699
Sistema Convencional 3	20.382.373	1.407.570 €	3.045.396

Se observa que, al comparar el sistema geotérmico con los sistemas convencionales 1 y 2, a pesar de los ahorros energéticos son muy distintos, los ahorros en emisiones tienen un alto grado de similitud. Esto se debe a que las emisiones asociadas al consumo de energía eléctrica son mucho mayores que aquellas asociadas al consumo de propano.

Por otra parte, es notable que el ahorro en emisiones al compararlo con el sistema convencional 3 es de 3.045.396 kg CO₂ al año. Este valor se sitúa cercano a la mitad de los otros dos valores, y se debe a que las emisiones asociadas a la generación mediante caldera de biomasa son iguales a cero, por lo que las emisiones proceden únicamente de la generación de frío en este caso.

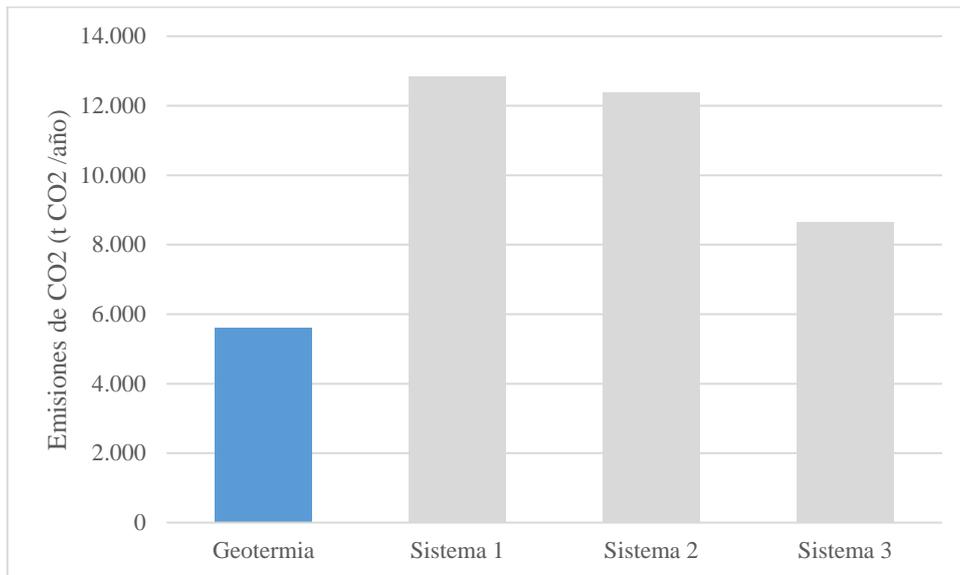


Figura 4.11. Emisiones de CO₂ asociadas a cada sistema de generación.

La figura 4.11 muestra las emisiones de CO₂ asociadas a cada uno de los sistemas de generación. Tal y como se comentaba anteriormente, el sistema geotérmico cuenta con los niveles más bajos de emisiones de entre todos los sistemas estudiados, generando un valor equivalente a entre el 44 y el 65% de las emisiones de CO₂ que generan los sistemas convencionales.

5. Estudio Económico

En esta sección se realiza un estudio de la inversión inicial que requiere el sistema para funcionar, y, seguidamente, se analiza la posible rentabilidad que generaría la instalación propuesta, en el caso en que reemplazase a una de las instalaciones convencionales estudiadas previamente.

5.1. Inversión Inicial

Con la finalidad de estudiar la rentabilidad de una instalación geotérmica, se realiza un presupuesto alzado de la inversión inicial que conllevaría la instalación en cuestión. De la misma manera que para los cálculos anteriormente realizados, este presupuesto no es más que un valor estimativo, y con un margen de error relativamente amplio.

Para realizar el presupuesto, se divide la instalación en tres partes principales:

- Generación
- Distribución
- Intercambio

La primera de las partes trata los sistemas involucrados en la generación de calor y de frío, esto es, las bombas de calor geotérmicas, para el aire acondicionado, la climatización de piscinas y el precalentamiento del ACS, así como las bombas de calor de alta temperatura, para la producción de ACS. En ambos casos, se escogen máquinas agua-agua, con altos valores de EER y de COP. Para las bombas de calor geotérmicas, se prevé unas temperaturas en el lado de la evaporación de 12-7°C, y en el lado de la condensación de 35-40°C. Por otra parte, las bombas de calor de alta temperatura se diseñan calentar el agua hasta los 60°C, con el lado del evaporador trabajando a una temperatura de alrededor de unos 30°C.

La distribución del calor utiliza el agua como fluido caloportador, e incluye en su partida elementos como las bombas de circulación, que mueven el agua entre la central de generación y cada hotel, así como las tuberías que contienen el agua, con distintas longitudes y diámetros para cada hotel, dependiendo de las particularidades del mismo. Los diámetros de las tuberías de distribución varían entre los 125mm hasta los 315mm, en el caso del más grande de los hoteles. Además de mover el agua entre el punto de generación y los hoteles, la red de distribución también debe ser capaz de conectar las bombas de calor con los pozos geotérmicos.

Por último, el intercambio de calor se realiza tanto entre las bombas de calor y los hoteles, como entre las bombas de calor y la tierra, por medio de los pozos. La instalación se diseña específicamente para intercambiar energía entre el terreno y los hoteles, tanto haciendo uso del terreno como fuente de calor, como cuando sirve de sumidero. Es por ello que esta es, probablemente, la parte con mayor importancia de la instalación, pues, de no ser correctamente dimensionada, puede crear un efecto de cuello de botella, y no permitir que el sistema geotérmico desarrolle su potencial de manera completa

Además, en el presupuesto se incluyen partidas relacionadas con otros aspectos de la instalación como pueden ser el conexionado eléctrico, o la obra civil. Para ello, se estima oportuno asignar un porcentaje del coste total de la instalación a cada uno de estas dos últimas partidas.

De esta manera, el presupuesto queda como se muestra en la tabla 5.1. Se observa cómo la mayor de las partidas le corresponde a la distribución de la energía alrededor de la instalación (3.044.385,80 €); esto se debe a que las distancias a recorrer entre el centro de generación y cada

hotel es son relativamente grandes. Además, dadas las dimensiones de los hoteles, las bombas de circulación deben ser capaces de entregar altos caudales de agua a presiones elevadas. También la generación, 1.805.099,08 € de los 6.582.703,21 € totales, representa una porción importante.

Tabla 5.1. Presupuesto alzado de instalación geotérmica.

<i>Generación</i>	<i>1.805.099,08 €</i>
Bombas de Calor Geotérmicas	1.442.100,28 €
Bombas de Calor A.T.	362.998,80 €
<i>Distribución</i>	<i>3.044.385,80 €</i>
Bombas de circulación	659.464,00 €
Tuberías	2.384.921,80 €
<i>Intercambio</i>	<i>889.225,96 €</i>
BCG - hoteles	167.854,00 €
BCAT - hoteles	6.990,00 €
BC - pozos	363.342,00 €
Excavación pozos	351.039,96 €
<i>Electricidad</i>	<i>406.339,75 €</i>
<i>Obra Civil</i>	<i>1.097.117,32 €</i>
Total Sistema Geotérmico	6.582.703,91 €

5.2. Rentabilidad de la Instalación

Tal y como se comenta previamente, se analiza la rentabilidad de la instalación, proponiéndose el caso de que fuera a reemplazar a uno de los sistemas convencionales propuestos en este estudio. Es decir, para investigar la viabilidad económica del sistema geotérmico, se estudia, primeramente, el coste que tendría instalar un sistema geotérmico nuevo que sustituya a uno de los sistemas convencionales propuestos, y, seguidamente, los ahorros anuales que se generarían al realizar dicho cambio.

Por tanto, teniendo en cuenta el coste inicial de la instalación, y los ahorros que se generan año a año, resulta sencillo calcular el periodo de retorno de la instalación. Para el cálculo de dicho periodo, se propone el método del Valor Neto Actualizado, o VAN, con una tasa de actualización del 0,1. Además del periodo de retorno, con el cálculo del VAN se obtienen datos acerca del beneficio actualizado que se obtendría al realizar la inversión descrita.

$$\text{VAN} = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde la V_t representa el valor del flujo de caja, la k representa la tasa de actualización, y el símbolo I_0 corresponde a el valor de la inversión inicial.

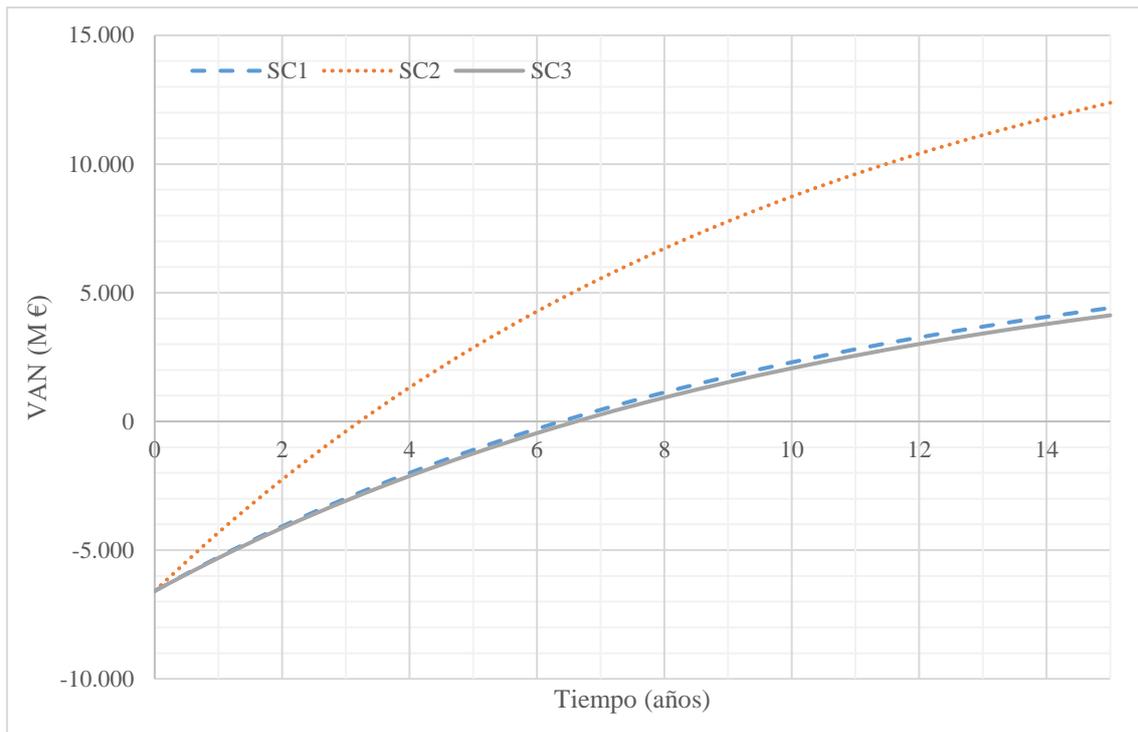


Figura 5.1. VAN de la sustitución de los sistemas convencionales estudiados por el sistema geotérmico.

Siguiendo este método, se obtiene la gráfica mostrada en la figura 5.1. En ella se observan tres curvas del VAN correspondiente a la comparación de la geotermia con cada uno de los tres sistemas convencionales estudiados. La curva del S2 muestra la evolución del VAN de una instalación que pase del SC2 al sistema geotérmico, obteniéndose el mínimo VAN a quince años de los tres sistemas, e igual a 4.123.386 €. Por otra parte, el VAN correspondiente al comparar la instalación propuesta con el SC2 asciende hasta los 12.379.939 €.

Además, en cuanto al periodo de retorno, se observa que, en el mejor de los casos, la inversión en el sistema geotérmico se recuperaría en poco más de tres años. Por otra parte, si la instalación geotérmica sustituyera a una con el SC3, habría que esperar hasta bien entrado el séptimo año. En cualquiera de los casos, el periodo de retorno es relativamente corto, siendo siempre inferior a los 10 años, y generando un beneficio a quince años por encima de los 4.000.000 €.

6. Conclusión

Tal y como se evidencia a lo largo del estudio realizado, el aprovechamiento de la energía geotérmica de baja entalpía es una tecnología con muchas aptitudes para convertirse en la energía del futuro para las instalaciones hoteleras en el litoral de las Islas Canarias. Al compararse con otras tecnologías actualmente empleadas, presenta una serie de ventajas.

Primeramente, esta es una instalación que se diferencia de otras por su versatilidad. Las calderas de propano, las de biomasa, o los paneles solares son todas tecnologías empleadas para la generación de frío; las plantas enfriadoras aerotérmicas son, como su nombre indica, utilizadas cuando se pretende generar frío. Sin embargo, y a diferencia de las bombas de calor geotérmicas, ninguna de ellas es capaz de generar, simultáneamente, calor y frío de manera aprovechable. Además, el sistema de bombas de calor geotérmicas requiere de unas dimensiones relativamente reducidas, pues se trata de máquinas compactas, conectadas a pozos subterráneos, que, a simple vista, parecen ser alcantarillas. Por tanto, en aquellas instalaciones con restricciones estrictas en cuanto espacio, y con demandas de tanto de frío como de calor, la geotermia presenta una gran ventaja.

Tal y como se comenta en la segunda sección de este estudio, las instalaciones de generación de frío dependen directamente de la climatología exterior. Es por ello que, durante las épocas de entretiempo, cuando las temperaturas son moderadas, el consumo energético de los hoteles desciende notablemente. El sistema geotérmico aprovecha la temperatura casi constante a lo largo del año que existe bajo la tierra para generar unas condiciones de intercambio de calor idóneas, por tanto, reduciendo el consumo energético, no sólo en las épocas de entretiempo, sino durante la totalidad del año. Además, unas condiciones exteriores moderadas implican que la instalación se encuentra, a lo largo de su vida útil, un menor número de horas bajo grandes esfuerzos. A la larga, esto implica que el sistema se encuentra bajo menor riesgo de fallos o averías, y, por tanto, genera unos menores gastos de mantenimiento.

Cabe mencionar que, con relación a la normativa vigente, esta tecnología se presta como una de las alternativas más interesantes. Durante los últimos años, la normativa con respecto a las energías renovables en Europa ha ido cambiando, e incentivando aquellas tecnologías con más futuro. Por último, se ha reconocido que, parte de la energía entregada por una bomba de calor geotérmica, puede clasificarse como energía de origen renovable, pues es una energía existente en el medio, y que será devuelta al mismo eventualmente. Por otra parte, el RITE y el CTE permiten que la contribución mínima solar para la producción de ACS sea sustituida por otros tipos de energía renovable, a la vez que obligan a que el 100% de la energía empleada para la climatización de piscinas sea de origen renovable o de carácter residual. Todo ello implica que las bombas de calor geotérmicas sean, junto con los paneles solares y las calderas de biomasa, las únicas tecnologías capaces de cumplir con la normativa vigente, sin combinarse con otros tipos de aprovechamiento energético renovable (como la fotovoltaica o la eólica).

Al analizar los resultados del estudio, se observa que la demanda de refrigeración anual de la instalación conjunta de los cinco hoteles es de 35.757.478 kWh, y, por tanto, el calor de condensación residual disponible es de 41.487.843 kWh. Del calor residual disponible, el 71,2% del calor residual generado es aprovechable, debido a que existen momentos en los que la demanda se sitúa por encima de la generación. Por otra parte, la demanda de calor de la misma instalación tiene un valor ligeramente superior, y equivalente a 43.787.787 kWh. Esto, a primera vista, muestra cómo el calor residual, si bien puede cubrir una gran parte del calor necesario, no es suficiente como para cubrirlo en su totalidad. La cantidad de energía restante, 11.898.772 kWh,

se completa con el sistema geotérmico, lo que garantiza un alto rendimiento y minimiza el consumo energético.

En términos de consumo energético, la generación de frío con el sistema geotérmico conlleva el consumo de 4.938.878 kWh, mientras que el sistema alternativo (planta enfriadora condensada por aire) requiere 10.660.827 kWh al año para satisfacer la demanda. Esto conlleva más de un 50% de ahorros energéticos en la generación de frío.

Por otra parte, para la generación de calor, la geotermia se vuelve a posicionar como aquella con menor consumo, necesitando tan solo 2.029.035 kWh anuales para suplir la demanda impuesta. De entre los demás sistemas propuestos, el Sistema Convencional (SC) 1 -combinando una bomba de calor aerotérmica con recuperación, con una caldera de propano y paneles solares- es el de menor consumo, conllevando 8.200.000 kWh al año, mientras que el SC3 -caldera de biomasa y paneles solares- necesita 39.962.200 kWh anuales para abastecer la demanda de calor.

En cuanto a la huella ecológica de las instalaciones hoteleras a las que este sistema trata de suministrar, se ve reducida en todos los casos al compararla con la geotermia. En contraste con el SC3, el sistema geotérmico reduce las emisiones en 3.045 t de CO₂ al año, mientras que, en comparación con el SC1, la reducción en emisiones alcanza las 7.121 t de CO₂ anualmente.

Consecuentemente, estos ahorros energéticos implican unos considerables ahorros económicos. Sumando la generación de calor y la generación de frío, anualmente, el sistema geotérmico tiene un ahorro económico anual de 1.445.327 € si lo comparamos con el SC1. Al compararlo con el SC2, el ahorro anual aumenta hasta los 2.493.090 €, mientras que la diferencia entre el SC3 y el sistema geotérmico estudiado es de 1.407.570 €.

Por último, y en el caso de que el sistema geotérmico fuera a ser instalado sustituyendo a uno de los sistemas convencionales, se estima que el beneficio, a quince años vista, varía entre los 4.123.386 € y los 12.379.939 €, dependiendo de cuál, de los convencionales, sea el sistema al que se sustituye. En términos del periodo de recuperación de la inversión, los 6.582.704 € de costes iniciales, serían recuperados entre 3 y 6 años y medio, dependiendo, una vez más, del sistema convencional con el que se compare la instalación geotérmica.

Estos -nada desdeñables- ahorros, tanto económicos como de emisiones de CO₂, pueden ser el incentivo que requiere esta tecnología para ser impulsada a nivel de las Islas Canarias. No solo estamos ante una tecnología con un gran potencial de mejora del medio ambiente, sino que, además, nos encontramos con una tecnología que es, actualmente, más rentable que cualquier otra para grandes instalaciones.

Bibliografía

- [1] Tae Hwan Lim, Robert D. De Leine, Gregory A. Koeleian, Energy use and carbon reduction potentials from residential ground source heat pumps considering spatial and economic barriers, *Energy and Buildings* 128 (2016) 287-304.
- [2] P.J. Hughes, Geothermal (Ground-Source) heat pumps: market status, barriers to adoption, and actions to overcome barriers, Oak Ridge National Laboratory (2008).
- [3] X. Liu, Assessment of National benefits from retrofitting existing single-family homes with ground source heat pump systems, Energy and Transportation Science Division, Oak Ridge National Laboratory (2010).
- [4] A.M. Omer, Ground-Source heat pump systems and applications, *Renewable Sustainable Energy Review* 12, 2 (2006) 344-371.
- [5] VISSMANN, Catálogo de Producto – Sistemas de Calefacción.
- [6] Georgios Florides, Soteris Kalogirou, Ground heat exchangers - A review of systems models and applications, *Renewable Energy* 32 (2007) 2461-2478.
- [7] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Guía técnica de diseño de sistemas de intercambio geotérmico de circuito cerrado, Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización, 14 (junio, 2012).
- [8] Burkhar Sanner, Constantine Karytsas, Dimitros Mendrinou, Ladislaus Rybach, Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe, *Geothermics*, Vol. 32, Issues 4-6 (August-December, 2003), 579-588.
- [9] José Sánchez Guzmán, Laura Sanz López, Luis Ocaña Robles, Evaluación del Potencial de Energía Geotérmica, Estudio Técnico PER 2011-2020 (2011).
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables, Área Tecnológica: Geotermia (febrero, 2012).
- [11] Yan-Jun Zhang, Zheng-Wei Li, Zi-Wang Yu, Liang-Liang Guo, Xian-Peng Jin, Tian-Fu Xu, Evaluation of developing an enhanced geothermal heating system in northeast China: Field hydraulic stimulation and heat production forecast, *Energy and Buildings* (2015) 1-14.
- [12] GNS Science Limited, Energy Efficiency and Conservation Authority (EECA), Geothermal Heat Pumps in New Zealand: Introductory Technical Guide, GNS Science Misc, 54 (2013).
- [13] Burkhard Sanner, Constantine Karytsas, Dimitros Mandrinou, Ladislaus Rybach, Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe, *Geothermics* 32 (2003) 579-588.
- [14] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- [15] Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovable.
- [16] Reglamento de Instalaciones Térmicas en la Edificación, Instrucción Técnica 1.2 e Instrucción Técnica Complementaria 10.2.

- [17] Código Técnico de la Edificación, Documentos Básicos HE-2 y HE-4.
- [18] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, Instalaciones solares térmicas para producción de agua caliente sanitaria, Documentos Técnicos de las Instalaciones en la Edificación (DTIE) 8.03.
- [19] Chartered Institute of Building Services Engineers, CIBS Guide, Section C-3.
- [20] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración, Calentamiento de agua de piscinas, Documentos Técnicos de las Instalaciones en la Edificación (DTIE) 1.02.
- [21] TRANE, S.A., Síntesis Air-Cooled Chillers Model RTAF, Product Catalog.
- [22] TRANE, S.A., Series R Helical Rotary Liquid Chillers Model RTWD, Product Catalog
- [23] Eurovent Certification. <http://www.eurovent-certification.com/index.php?lg=es>
- [24] Carrier, S.A. (2009) Manual de Aire Acondicionado, Marcombo.
- [25] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector edificios en España (marzo, 2014).
- [26] BUDERUS, Manual Técnico – Logano SP161
- [27] Shu Haiwen, Duanmu Lin, Shi Jing, Jia Xin, Ren Zhiyong, Yu Haiyang, Field measurement and energy efficiency enhancement potential of a seawater source heat pump district heating system, Energy and Buildings 105 (2015) 352-357
- [28] Grafcan Visor. <http://visor.grafcan.es/visorweb/>
- [29] Biblioteca Universidad Nacional del Sur. <http://bc.uns.edu.ar/>
- [30] Grundfos (2016) Tarifa de Precios 2016.
- [31] Alfa laval (2015) Intercambiadores de calor para HVAC e Industria.

Anexo

Índice de Contenidos

Anexo 1 – Cálculos de Frío

Anexo 2 – Cálculos de Calor

Anexo 3 – Esquema Térmico del Sistema Geotérmico

A.1 – Cálculos de Frío

Tabla A.1.1. Demanda de frío y calor recuperado por la instalación mensualmente.

Días/mes	Mes	Hrs / mes	Porcentaje de energía aportada respecto a su máximo potencial	Frío requerido por la instalación (kWh/mes)	Calor recuperado por la instalación (kWh/mes)
31	ENE	372	25,00%	1.405.989,12	1.631.307,89
28	FEB	336	34,00%	1.727.098,90	2.003.877,57
31	MAR	372	45,00%	2.530.780,42	2.936.354,21
30	ABR	360	51,00%	2.775.694,66	3.220.517,52
31	MAY	372	59,00%	3.318.134,33	3.849.886,63
30	JUN	360	66,00%	3.592.075,44	4.167.728,55
31	JUL	372	75,00%	4.217.967,37	4.893.923,68
31	AGO	372	83,68%	4.705.981,45	5.460.145,14
30	SEP	360	77,00%	4.190.754,68	4.862.349,98
31	OCT	372	60,00%	3.374.373,89	3.915.138,94
30	NOV	360	41,00%	2.231.440,80	2.589.043,49
31	DIC	372	30,00%	1.687.186,95	1.957.569,47

A.2 – Cálculos de Calor

Tabla A.2.1. Demanda de calor para la producción de ACS para el hotel Costa Meloneras.

Necesidades Energéticas ACS							
Mes	Días	Porcentaje Ocupación	Consumo diario	Consumo mensual	Temp. Agua Red	Necesidades Energéticas	Nec. Tot. + pérdidas
		%	lts./día	m ³ /mes	°C	kWh/mes	kWh/mes
ENE	31	100	227200	7043,2	13	384.919,07	442.656,93
FEB	28	100	227200	6361,6	14	340.271,63	391.312,37
MAR	31	100	227200	7043,2	15	368.539,53	423.820,47
ABR	30	100	227200	6816	16	348.725,58	401.034,42
MAY	31	100	227200	7043,2	18	343.970,23	395.565,77
JUN	30	100	227200	6816	19	324.948,84	373.691,16
JUL	31	100	227200	7043,2	19	335.780,47	386.147,53
AGO	31	100	227200	7043,2	19	335.780,47	386.147,53
SEP	30	100	227200	6816	18	332.874,42	382.805,58
OCT	31	100	227200	7043,2	16	360.349,77	414.402,23
NOV	30	100	227200	6816	15	356.651,16	410.148,84
DIC	31	100	227200	7043,2	13	384.919,07	442.656,93
Total	365	100,0	2.726.400,0	82.928,0	195,0	4.217.730,2	4.850.389,8

Tabla A.2.2. Transferencia de calor entre piscina 1 del hotel Costa Meloneras y sus alrededores.

Mes	Convección	Radiación	Evaporación	Reposición	Ganancias	Transferido
	QC	QR	QE	QM	GD	QT
	kWh/día m ²					
ENE	2,418	1,857	6,928	0,017	2,916	8,305
FEB	2,056	1,802	6,450	0,016	3,064	7,260
MAR	2,159	1,670	8,174	0,020	4,122	7,902
ABR	2,002	1,648	7,734	0,019	4,458	6,946
MAY	1,863	1,536	8,456	0,021	5,120	6,756
JUN	1,287	1,400	7,239	0,018	5,505	4,439
JUL	0,390	1,146	6,866	0,017	5,831	2,588
AGO	(0,183)	1,006	5,107	0,013	5,337	0,605
SEP	(0,111)	1,017	3,776	0,009	4,359	0,333
OCT	0,681	1,285	4,739	0,012	3,835	2,883
NOV	1,338	1,525	5,752	0,014	3,044	5,585
DIC	1,900	1,747	6,204	0,015	2,510	7,356

Tabla A.2.3. Demanda energética mensual de las piscinas del hotel Costa Meloneras.

Mes	Piscina 1	Piscina 2	Piscina 3	Piscina 4	Piscina 5	Piscina 6	Total
kWh/mes							
ENE	932.343	444.455	58.521	123.736	59.062	16.143	1.634.259
FEB	736.182	350.943	46.208	97.702	46.635	12.746	1.290.417
MAR	887.045	422.861	55.678	117.724	56.192	15.359	1.554.858
ABR	754.576	359.712	47.363	100.143	47.800	13.065	1.322.659
MAY	758.483	361.574	47.608	100.662	48.048	13.133	1.329.507
JUN	482.198	229.867	30.266	63.995	30.546	8.349	845.221
JUL	290.576	138.520	18.239	38.564	18.407	5.031	509.337
AGO	67.919	32.378	4.263	9.014	4.303	1.176	119.052
SEP	36.135	17.226	2.268	4.796	2.289	626	63.339
OCT	323.611	154.268	20.312	42.948	20.500	5.603	567.242
NOV	606.727	289.231	38.083	80.522	38.435	10.505	1.063.503
DIC	825.808	393.669	51.834	109.597	52.313	14.298	1.447.519
ANUAL	6.701.604	3.194.703	420.643	889.402	424.529	116.033	11.746.915