

MÁSTER UNIVERSITARIO EN EFICIENCIA ENERGÉTICA



“Valoración energética de las bombas de calor como fuente de energía renovable en los edificios de consumo casi nulo en Canarias”

DICIEMBRE 2.016

Autor: Daniel Morales Costas

Tutores:

Dr. D. Alejandro Ramos Martín

Dr. D. Fabián Alberto Déniz Quintana



Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mis tutores del Trabajo Final de Máster, Dr. D. Alejandro Ramos Martín y a Dr. D. Fabián Alberto Déniz Quintana por su consejo y dedicación ya que han sido fundamentales para para la realización de este trabajo y a mi familia ya que sin su apoyo este trabajo no habría sido posible.

Resumen

Se ha realizado una valoración energética de las bombas de calor como fuente de energía y sus diferentes usos en los edificios de consumo casi nulo en las diferentes zonas de Canarias. Todo ello teniendo en cuenta 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 en la que se establece que los edificios a partir de 2020 deben ser de consumo casi nulo y a la **“Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo”** que considera a las bombas de Calor como fuente de energía renovable, comenzando con un estudio del estado del arte sobre el uso de los diferentes tipos de las bombas de calor en edificios, para poder determinar las variables a estudiar y analizar sus posibles resultados.

Abstract

It has made an energy assessment of heat pumps as an energy source and its different uses in buildings almost zero consumption in different areas of the Canary Islands. All this taking into account the "**DIRECTIVE 2010/31 / EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 19 May 2010,**" on the energy efficiency of buildings in which it is stated that the buildings from 2020 should be consumption almost zero and the "**Decision of the Commission of 1 March 2013 laying down guidelines for the calculation are set by member states of renewable energy from heat pumps of different technologies, as provided in the Article 5 of directive 2009/28 / EC of the European parliament and the council** " that considers heat pumps as a renewable energy source, starting with a study of the state of the art on the use of different types of heat pumps in buildings, in order to determine the variables to study and analyze their possible outcomes.

Índice

CAPÍTULO 1	INTRODUCCIÓN	9
1.1	Antecedentes.....	9
1.1.1	Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios	11
1.1.2	Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo	12
1.2	Objetivos y estructura el trabajo	13
CAPÍTULO 2	LAS BOMBAS DE CALOR.....	15
2.1	Principio de funcionamiento	15
2.2	Clasificación de las bombas de calor	16
2.3	El COP de una bomba de calor	19
CAPÍTULO 3	EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO	20
3.1	Sistemas pasivos	20
3.2	Sistemas activos.....	22
3.3	Análisis del ciclo de vida	22
CAPÍTULO 4	APLICACIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN Y ESTADO DEL ARTE	24
4.1	Aplicaciones en edificios de consumo casi nulo	24
4.1.1	Sistemas híbridos	25
4.1.2	Bomba de calor Geotérmica vs Aerotérmica	25
4.1.3	Climatización de piscinas	26
4.1.4	Aplicaciones en estudio	27
CAPÍTULO 5	POTENCIAL GEOTÉRMICO EN CANARIAS.....	28
5.1	Definición de energía geotérmica.....	28
5.2	Tipos de energía geotérmica	29
5.3	Energía geotérmica en Canarias	30
CAPÍTULO 6	CLIMATOLOGÍA EN CANARIAS.....	32
6.1	Inversión térmica.....	33

6.2	Corrientes marinas	33
6.3	Clasificación climática según Código Técnico de la Edificación	34
CAPÍTULO 7 APLICACIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR EN CANARIAS		35
7.1	Edificios destinados al turismo	36
7.2	Edificios residenciales	38
7.3	Potencial de sistemas híbridos	40
7.3.1	Potencial fotovoltaico en Canarias	40
7.3.2	Potencial eólico en Canarias	42
CAPÍTULO 8 VALORACIÓN ENERGÉTICA DE LAS BOMBAS DE CALOR EN CANARIAS		44
8.1	Metodología	44
8.2	Caso 1- Comparativa ACS edificio de viviendas	51
8.3	Caso 2 - Comparativa calefacción edificio de viviendas	57
8.4	Caso 3 - Comparativa para abastecimiento de ACS, refrigeración y climatización de piscinas en un hotel	61
CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES		69
CAPÍTULO 10 LINEAS FUTURAS		70
CAPÍTULO 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		71

CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo se centra en la valoración energética de las bombas de calor y sus diferentes usos en los edificios de consumo casi nulo, y su aplicación en Canarias. Realizando una revisión bibliográfica de las diversas tecnologías existentes de aplicación en estos edificios, haciendo referencias a la “Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo” que tiene como objetivo establecer las directrices para el cálculo de la producción de energía renovable procedente las bombas de calor y a la a Directiva Europea 2010/31/UE, donde se introduce la definición de edificio de consumo de energía casi nulo, y se plantea como un edificio altamente eficiente desde el punto de vista energético, donde la casi nula o muy baja energía demandada, procederá de fuentes renovables, producidas in situ o en el entorno. Se establece, por otro lado, que a partir del 31 de diciembre de 2020 todos los edificios de nueva construcción sean edificios de consumo de energía casi nulo, adelantando esta obligación a 31 de diciembre de 2018 a todos los edificios ocupados por las administraciones y de titularidad pública.

1.1 Antecedentes

El estilo de vida del ser humano requiere de un alto consumo energético, el cuál desde los tiempos de la industrialización ha dejado una huella que ha provocado un gran aumento de las concentraciones de CO₂ en la atmósfera, este aumento se debe principalmente al uso de combustibles de origen fósil [1], esto ha generado una alta concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera y su consecuencia ha sido nefasta, es lo que conocemos como calentamiento global, ya que la temperatura del planeta esta aumentando gradualmente. Este cambio climático que esta sufriendo nuestro planeta y que ya no se puede negar debido a su

clarividencia científica [2]. Por lo tanto para combatir este cambio climático se requiere una transición urgente hacia un modelo de desarrollo sostenible basado en la eficiencia y en la equidad, así como en la apuesta decidida por las energías renovables[3]. Todo esto no podría ser posible sin la ayuda política y debido a esto los gobiernos de los países industrializados han manifestado un creciente interés y esto ha generado acuerdos internacionales tales como el protocolo de Kyoto que tiene por objetivo la reducción de los gases de efecto invernadero [4], a destacar dentro de este protocolo la reciente Conferencia sobre cambio climático de las naciones unidas denominada COP 21 en Diciembre del año 2015 en París, en la que los 195 países miembros lograron por consenso un pacto global para reducir sus emisiones de carbono y hacer todo lo posible para mantener el calentamiento global muy por debajo de los 2°C. Para la realización de este trabajo se ha de destacar dos directivas europeas que se resumen brevemente en los siguientes apartados.



Figura 1.1: Imagen ilustrativa del calentamiento global (Fuente COMBUSTIONINDUSTRIAL.COM)

1.1.1 Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios

Esta directiva es una refundición de la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 y entro en vigor el pasado 9 de Julio de 2010, tiene en consideración que el 40% del consumo total de la energía en la Unión Europea corresponde a los edificios, por lo tanto tiene como objeto:

- Fomentar la eficiencia energética de los edificios situados en la Unión Europea, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como las exigencias ambientales interiores y la rentabilidad en términos de coste-eficacia.
- Establecer requisitos en relación a:
 - La metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios
 - La aplicación de requisitos mínimos a la eficiencia energética de: Edificios de nueva construcción, edificios existentes que sean objetos de reformas, Instalación sustitución o mejora de instalaciones técnicas en los edificios
 - La certificación energética de los edificios y sus sistemas de control
 - Los planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo

También nos define una serie de términos en los que cabe destacar el siguiente, **“Edificio de consumo de energía casi nulo”** y lo define como *edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.*

Y establece que todos los estados miembros de la Unión Europea a más tardar el 31 de Diciembre de 2020 se asegurarán que todos los edificios de nueva construcción sean edificios de consumo de energía casi nulo para así poder reducir el consumo de la Unión Europea y que

junto con un mayor uso de las energías procedentes de fuentes renovables poder así cumplir con el protocolo de Kyoto y conseguir un triple objetivo para 2020:

- Reducción del 20% de emisiones de gases de efecto invernadero
- Aumento del 20% de la eficiencia energética
- 20% del consumo total de la energía, procedente de Energías Renovables.

[5]

1.1.2 Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo

Esta directiva establece el método básico para el cálculo de la energía renovable suministrada por bombas de calor determina que en el cálculo de la cuota de energía procedente de fuentes renovables se deberá tener en cuenta la energía del ambiente de tipo aerotérmico, geotérmico o hidrotérmico capturada por las bombas de calor. y fija tres parámetros necesarios:

- La eficiencia del sistema de energía.
- La cantidad estimada de energía útil proporcionada por bombas de calor (Q_{usable}), que no es más que el calor útil total que se estima que proporcionan las bombas de calor, calculado como el producto de la potencia nominal de calefacción por las horas anuales equivalentes de una bomba de calor.
- El factor de rendimiento estacional (SPF) el cual se refiere al coeficiente de rendimiento estacional neto (SCOP) en las bombas de calor accionadas eléctricamente y la relación estacional neta de energía primaria en modo activo (SPER)

La normativa establece una metodología para estimar el SPF y el Qusable y determina un rendimiento mínimo que es de 2,5 para las accionadas eléctricamente y de 1,15 para las accionadas mediante energía térmica [6].

1.2 Objetivos y estructura el trabajo

Los objetivos que nos planteamos con este trabajo son la realización una revisión bibliográfica para conocer los avances relacionados con las bombas de calor y el análisis de esas tecnologías para hacer una valoración de su aplicación en función de los factores que se dan en Canarias.

Para lograr estos objetivos, realizaremos un estudio del arte, referente a las diversas tecnologías de bombas de calor (ya sea para climatizar o para abastecer con agua caliente sanitaria) empleadas en edificios de consumo casi nulo.

El presente trabajo se divide en varios capítulos. En el primero podemos ver la introducción, los antecedentes y los objetivos de dicho trabajo. En el segundo capítulo podremos ver la definición de lo que es una bomba de calor, su principio de funcionamiento, las formas en que se clasifican y se habla de su coeficiente de operación(COP). El tercer capítulo se define lo que es un edificio de consumo casi nulo y las característica que tiene que tener para poder llegar a serlo, el cuarto capítulo es en el que expongo las posibles aplicaciones de las bombas de calor en los edificios de consumo casi nulo y una comparativa de las bombas aerotérmicas con respecto de las geotérmicas después de haber hecho una profunda revisión bibliográfica, aparte de otras posibles aplicaciones.

El capítulo quinto se explica brevemente que es la energía geotérmica y los diferentes tipos de aprovechamiento geotérmico, así como el potencial geotérmico en canarias.

En el capítulo sexto “Climatología en Canarias”: se hablara del clima dominante en Canarias, que es subtropical seco y húmedo, pero que debido a su posición en medio del Atlántico y a su relieve existen numerosos microclimas muy significativos, y de la clasificación climática según el Código Técnico de la Edificación. En el capítulo séptimo: “aplicaciones de las bombas de calor en Canarias”: comentaré las principales aplicaciones de las bombas de calor en Canarias, tanto

para edificios del sector turístico como para edificios residenciales. En el capítulo octavo realizó unos estudios comparativos sobre el uso de bombas de calor en tres casos distintos para poder tener una estimación de ahorro. El capítulo noveno refleja las conclusiones de este trabajo, en el décimo posibles líneas futuras de investigación y en el último capítulo es el de las referencias bibliográficas de las cuáles me he ayudado para la realización de este trabajo.

CAPÍTULO 2 LAS BOMBAS DE CALOR

Una bomba de calor es una máquina termodinámica formada por un ciclo frigorífico (compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador) que transfiere el calor desde un foco frío a otro caliente, aprovechando la energía existente en el ambiente, ya sea en el agua en el aire o en la tierra para acondicionar un espacio interior.

Para ello utiliza un fluido refrigerante en un ciclo termodinámico cerrado con unas determinadas propiedades termodinámicas, físicas y químicas para que condense y evapore a las temperaturas adecuadas [7,8].

2.1 Principio de funcionamiento

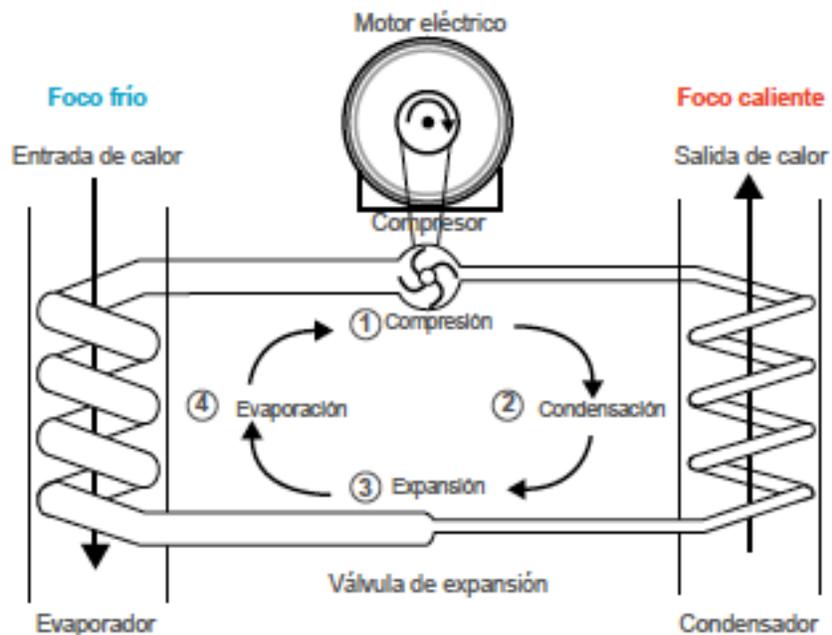


Figura 2.1: Esquema de principio de funcionamiento de una bomba de calor (Fuente IDAE.ES)

En la **Figura 2.1** se aprecia el esquema de principio de funcionamiento de una bomba de calor que se divide en cuatro pasos:

- 1. Compresión:** En este paso el fluido refrigerante en forma de gas entra en el compresor. El compresor tiene un pequeño consumo eléctrico para su funcionamiento, esta energía eléctrica consumida se transforma en calor transferido al fluido refrigerante, aumentando su presión así como su temperatura, aumentando así su entalpía(cantidad de energía que puede intercambiar con su entorno).
- 2. Condensación:** El fluido muy caliente pasa al condensador en este paso, en este intercambiador de calor el fluido cede su calor al foco caliente, y a medida que va cediendo toda la energía se enfría y cambia de estado gaseoso a líquido.
- 3. Expansión:** A la salida del condensador, pasa a la válvula de expansión, donde se produce una gran pérdida de carga y una disminución de la temperatura, permaneciendo su entalpía constante.
- 4. Evaporación:** Por último, el fluido refrigerante pasa por otro intercambiador de calor, situado en la fuente fría, donde se produce un proceso endotérmico, en el cual el fluido absorbe el calor y cambia de estado líquido a gas.

2.2 Clasificación de las bombas de calor

Las bombas de calor se pueden encontrar clasificadas de las siguientes maneras:

- En función de la fuente de energía renovable que extraen:
 - **Aerotérmicas:** Toman la energía almacenada en forma de calor en el aire ambiental, dentro de estas podemos clasificarlas en función del medio al que se transfiere el calor de la máquina térmica (aire o agua), se pueden clasificar las bombas de calor Aerotérmicas de la siguiente manera:

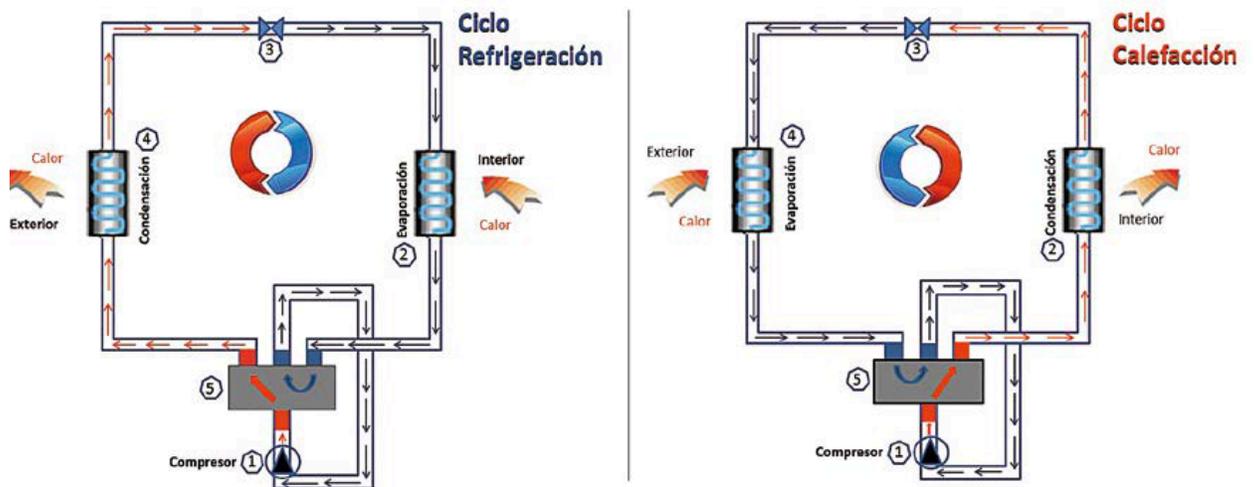
- Aire-Aire
- Aire-Agua

- **Hidrotérmicas:** Toman la energía almacenada en forma de calor en el agua superficial, dentro de estas podemos clasificarlas en función del medio al que se transfiere el calor de la máquina térmica (aire o agua), se pueden clasificar las bombas de calor Hidrotérmicas de la siguiente manera:
 - Agua-Aire
 - Agua-Agua

- **Geotérmicas:** Toman la energía almacenada en forma de calor bajo tierra, , dentro de estas podemos clasificarlas en función del medio al que se transfiere el calor de la máquina térmica (aire o agua), se pueden clasificar las bombas de calor Geotérmicas de la siguiente manera:
 - Tierra-Aire
 - Tierra-Agua

- En función a su funcionamiento:
 - **Reversibles:** Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción cómo en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido, circulando el refrigerante en un sentido u otro y por consiguiente invirtiendo el flujo de calor entre el interior y el exterior. Esto se consigue gracias a la instalación de un dispositivo auxiliar denominado válvula de cuatro vías que gracias a la cual es posible la reversibilidad.
 Como aprecia en la **Figura 2.2**, la disposición y los componentes que forman la bomba de calor son los mismos, con la variabilidad de los intercambiadores de

calor con la reversibilidad del ciclo gracias a la válvula de cuatro vías . En la imagen de la izquierda se observa como el intercambiador de calor exterior actúa como condensador y el interior como evaporador, lo que correspondería al ciclo de refrigeración. En la figura de la derecha haciendo uso del dispositivo auxiliar y, invierte el sentido gracias a la válvula de cuatro vías, trabajando así en el ciclo de calefacción.



1. Compresor
2. Intecambiador (condensador o evaporador según ciclo)
3. Válvula de expansión
4. Intercambiador (condensador o evaporador según ciclo)
5. Válvula de 4 vías

Figura 2.2: Esquema de funcionamiento de una bomba de calor reversible (Fuente IDAE.ES)

- **No reversibles:** Únicamente funcionan en uno de los ciclos, ya sea calefacción o refrigeración.

2.3 El COP de una bomba de calor

El COP es la medida de eficiencia energética de una bomba de calor, se llama COP (coefficient of performance) coeficiente de operación de una maquina térmica a la relación existente entre la energía térmica cedida por el sistema (Q) y el trabajo realizado por el compresor (W)

$$COP = \frac{Q}{W}$$

El COP depende directamente de la temperatura de los focos. La producción de frío será tanto más difícil de conseguir cuanto menor sea la temperatura a la que se debe producir, así como la disipación de calor de un condensador será peor en un ambiente cálido que frío [8]. Debido a esto es necesario establecer el concepto de rendimiento medio estacional (SPF) en una bomba de calor. La decisión de la comisión del 1 de Marzo de 2013 lo define de la siguiente forma: Factor de rendimiento medio estacional estimativo, que se refiere al “coeficiente de rendimiento estacional neto en modo activo” (SCOP), en el caso de las bombas de calor accionadas eléctricamente, o a la “ relación estacional neta de energía primaria en modo activo” (SPER), en el de las bombas de calor accionadas térmicamente[6,7].

CAPÍTULO 3 EDIFICIOS DE CONSUMO DE ENERGÍA CASI NULO

En este capítulo nos vamos a centrar en definir un edificio de consumo casi nulo, así como sus condiciones de diseño. Se ha investigado mucho sobre el tema, son diversos los investigadores que han expuesto sus conclusiones pero se podría decir que prácticamente hay un patrón establecido para mejorar la eficiencia del diseño de los edificios. Se define edificio de consumo casi nulo según la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios, como aquel cuyo nivel de eficiencia energética es muy alto y la casi nula o muy baja energía demandada, procederá de fuentes renovables, producida in situ o bien en el entorno. Esto se consigue mediante un diseño óptimo arquitectónico en donde habría que tener en cuenta tanto los sistemas pasivos como activos.

3.1 Sistemas pasivos

Trata sobre diseñar el edificio en función del clima del lugar, analizando la relación de inconvenientes y ventajas en relación a los parámetros arquitectónicos siguientes:

- **La orientación, geometría arquitectónica y posicionamiento:** En función del clima, la orientación solar y el sombreado deben maximizar la ganancia de calor solar en invierno y minimizarlo en el verano[9]. En cuanto a la geometría hay que buscar la forma mas aconsejable, por ejemplo en climas templados lo mas aconsejable sería un diseño en donde el aprovechamiento de la radiación solar, en climas extremos(donde haya mucho frío y calor) un edificio compacto y en zonas calidas con mucha radiación solar se ha de diseñar con fachadas con geometrías complejas para que proporcionen sombras y el posicionamiento debe garantizar una baja exposición a los vientos del invierno y un lugar ventilador en verano

- **El cerramiento:** es por donde se produce el intercambio de calor Interior-exterior o viceversa, por lo tanto es de gran importancia analizar:
 1. El color de las superficies en contacto con el exterior: los colores claros absorben menos energía que los oscuros.
 2. El aislamiento térmico: nos permite reducir las ganancias y las pérdidas térmicas del edificio, mejorando el nivel de confort.
 3. La superficie en contacto con el terreno: las edificaciones parcialmente enterradas gozan de una mayor estabilidad térmica, pero a veces también se reduce el acceso a la radiación solar y/o la posibilidad de ventilación natural, todo ello dependerá de las necesidades de la vivienda en función del clima en que se diseñe, en climas desérticos es ideal.
 4. La permeabilidad al paso del aire: que es directamente proporcional al grado de perforación de los paramentos exteriores: una permeabilidad alta permite una buena ventilación del edificio, pero también un mayor intercambio energético con el exterior.
 5. La luminosidad que incide: que influye directamente sobre el grado de insolación y de iluminación natural, pero también sobre el nivel de ganancias y pérdidas de calor. Un edificio muy transparente puede captar energía en exceso en el verano e incluso en el invierno y tener a la vez pérdidas energéticas considerables.
 6. Puentes térmicos : Es importantísimo el aislamiento de los elementos que los generan
- **Las Ventanas:** El uso de ventanas de cristal triple con doble acristalamiento de baja emisividad disminuye considerablemente la transmitancia térmica.
- **El Sombreado:** es imprescindible incorporar mecanismos para el control de la radiación solar en cualquier época del año tales como voladizos, toldos, persianas, las cubiertas.

Añadir elementos como árboles de hoja caduca, estos son algunos ejemplos de objetos que aportan sombra.

- **La ventilación natural:** Es importante comprobar con la ventilación si se produce efecto chimenea significativo que pueda proporcionar el mínimo necesario de intercambio de aire por hora. La ventilación natural mejora la eficiencia energética de una casa ya que no requiere consumo de energía y elimina el impacto ambiental, pero es muy complicado controlar el caudal y la temperatura del aire interior. La ventilación cruzada se puede utilizar en verano (accionada por el viento) permitiendo al aire frío libre entrar y el aire interior caliente salir a través de puertas y ventanas [10].

3.2 Sistemas activos

No siempre las soluciones pasivas son suficientes, cuando no permiten un nivel de confort óptimo es cuando se hace uso de los sistemas activos para garantizar el rango de confort un porcentaje de horas al año.

Las principales consideraciones a tener en cuenta en cuanto a sistemas pasivos en los edificios de consumo casi nulo son que la energía demandada proceda de fuentes de energía renovables, por ello es importantísimo que los aparatos que demanden energía eléctrica sean los que ofrezcan un mayor rendimiento con la clase A+ de eficiencia energética, la integración de la domótica es una medida muy importante de ahorro también.

3.3 Análisis del ciclo de vida

El Análisis de ciclo de vida permite analizar y gestionar los impactos ambientales asociados a un producto, proceso o actividad desde su fabricación hasta su desaparición como tal. Identifica, clasifica y cuantifica cada uno de los impactos a partir de los recursos materiales y la energía que interviene en el ciclo completo. Con esta herramienta se puede determinar el ACV de materiales de construcción y de los edificios. Desafortunadamente hay establecida una falsa

creencia de que la contribución de los edificios de consumo casi nulo a la reducción de emisiones de CO2 es excepcionalmente alta, es por ello que la mayoría de los estudios solo tienen en consideración la fase de vida del edificio, así pues que habría que ir mas allá de las evaluaciones energéticas y avanzar hacia la evaluación ambiental en una perspectiva de ciclo de vida comparando los impactos debidos a los materiales de construcción y a los dispositivos de producción de energía.

Según estudios prestar atención al consumo de energía en la fase de vida del edificio parece abordar sólo un tercio de los impactos ambientales de estos: la adopción del análisis del ciclo de vida como herramienta para guiar las elecciones de diseño podría ayudar a identificar la solución que asegure el menor impacto general en el conjunto. [11,12] Por ello habría que incidir en la construcción de bajo impacto con la selección de materiales de construcción naturales y renovables, de productos alternativos y sistemas con bajas emisiones de carbono mucho más recomendables que se los productos altamente procesados y manufacturados. [13]

CAPÍTULO 4 APLICACIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN Y ESTADO DEL ARTE

Las bombas de calor pueden tener diversas aplicaciones en la edificación, se ha realizado una búsqueda bibliográfica exhaustiva y en la que tiene una gran importancia la **“Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios”** y la **“Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo”** ya que en multitud de artículos científicos sobre la temática de edificios de consumo casi nulo, en las que las soluciones que aportan las bombas de calor son protagonistas, ya que con los avances y mejoras de los componentes del ciclo y los fluidos de trabajo, ha repercutido directamente en una mayor aplicación de estas en la edificación [14].

Entre sus principales aplicaciones cabe destacar el uso de las bombas de calor para el abastecimiento de agua caliente sanitaria y climatización de las viviendas [15].

4.1 Aplicaciones en edificios de consumo casi nulo

Las principales aplicaciones en los edificios de consumo casi nulo es como se nombra en la introducción de este capítulo el abastecimiento de agua caliente sanitaria y climatización [16,17]. Pueden ser sistemas de bomba de calor cuya demanda eléctrica sea cubierta por la red, pero al tratarse de edificios sostenibles, lo ideal es que sean sistemas híbridos combinando la bomba de calor con placas solares fotovoltaicas que aporten el trabajo necesario para hacer funcionar las bombas de calor con almacenamiento de energía en baterías [18,19], este sistema mejora el rendimiento energético de una caldera convencional en un porcentaje total de

energía consumida anualmente de aproximadamente un 20% [20,21], aunque de ello depende en gran medida el nivel de confort de los ocupantes del edificio [22], pero bien es cierto que en climas fríos al reducir sustancialmente los costes energéticos se pueden calentar más habitaciones a temperaturas más altas durante períodos más largos [23]. Igualmente en el ámbito de los sistemas de energía híbridos hay todavía muchos desafíos existentes y se necesita urgentemente un enfoque integral para el diseño y control de sistemas de energía, pero ello depende también del clima local y el factor económico [24].

4.1.1 Sistemas híbridos

Hay diversos estudios científicos sobre comparativas de sistemas híbridos con bomba de calor, para así poder aprovechar las ventajas que cada uno ofrece, ya sea uno formado por una bomba de calor y un sistema solar térmico u otro formado por una bomba de calor cuya demanda eléctrica sea producida por placas solares fotovoltaicas [25,26] para la climatización en edificios en la que la combinación energética óptima sería la combinación de una bomba de calor reversible cuyo accionamiento eléctrico sea producido por placas solares fotovoltaicas [27], actuando tanto en modo calefacción como refrigeración, consiguiendo ahorros significativos en la factura eléctrica que pueden llegar en torno al 20% [28], aunque esto en climas mas fríos, en climas mediterráneos los ahorros de energía primaria pueden llegar a ser del 30 % [29]. Para el abastecimiento de agua caliente sanitaria un sistema similar es la opción más eficiente con respecto al gas o a un termo eléctrico, pero su único inconveniente es que la esperanza de vida es menor [30].

4.1.2 Bomba de calor Geotérmica vs Aerotérmica

Las bombas de calor geotérmicas y las aerotérmicas son los dos tipos principales de bombas de calor aplicables a la edificación, pero eso no quiere decir que los dos sistemas funcionen igual. La principal diferencia de las bombas de calor geotérmicas con respecto a las aerotérmicas, es que en la que la temperatura del suelo es relativamente constante en comparación con la del aire [31] aunque esta se ve influenciada por la temperatura del ambiente [32], en climas cálidos el calor se acumula y esto hace que la temperatura de la tierra aumente y esto afecta a la

eficiencia del sistema, pero se puede solucionar mediante el uso de sistemas híbridos con el rechazo de calor de unidades suplementarias, como las torres de refrigeración para eliminar el calor acumulado [33], en climas fríos sin embargo si la demanda de calefacción es excesiva se puede provocar un agotamiento térmico del terreno, esto disminuiría progresivamente la temperatura del fluido de trabajo y por tanto reducir la eficiencia del sistema, pero también con el uso de un sistema híbrido con colectores solares aportando calor al pozo geotérmico evitando así el agotamiento de calor de la tierra [34-36]. Las bombas de calor aerotérmicas suelen tener un COP inferior , pero para mejorar su rendimiento se pueden integrar con colectores solares para suministrarle energía al evaporador a una temperatura mas alta que el aire ambiente [37,38].

Comparando ambos sistemas se puede concluir que las bombas de calor geotérmicas tienen varias ventajas sobre las aerotérmicas [39] :

1. Mayor eficiencia
2. Coste del ciclo de vida inferior
3. Un menor impacto en el medio ambiente
4. Mayor fiabilidad

Por eso es recomendable como opción prioritaria en los edificios de nueva construcción, siempre y cuando el coste inicial no sea un impedimento para los propietarios y no haya dificultades para su instalación en el terreno.

4.1.3 Climatización de piscinas

La climatización de piscinas requiere de un gran gasto energético y las que están al aire libre más aún debido a que se enfrenta a las variaciones de la temperatura ambiente, por tanto la aplicación de bombas de calor para la climatización de piscinas es algo que puede ser económica, técnica y ambientalmente factible. Su coste de instalación es bastante alto pero se compensa con una reducción de entre el 75-90% de la carga energética, dependiendo del COP

de la bomba instalada, lo que nos dice que es una inversión que se puede recuperar en unos años. El otro 10% de la energía térmica requerida se puede producir por sistemas activos basados en renovables como biomasa o colectores solares [40,41].

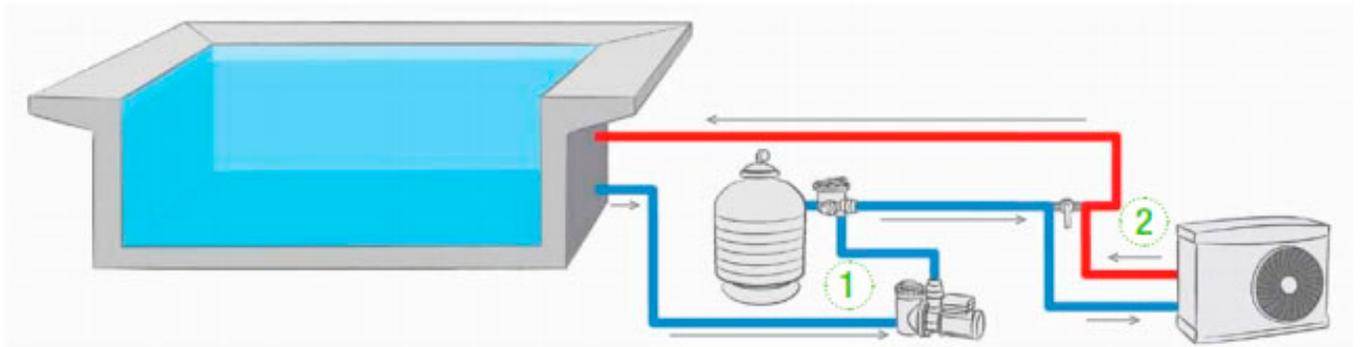


Figura 4.1: Ejemplo de funcionamiento de bomba de calor para climatización de piscina

4.1.4 Aplicaciones en estudio

Un ciclo orgánico Rankine contiene tecnología muy similar a la de una bomba de calor; refrigerantes, compresor, condensador, regenerador. Se ha demostrado la viabilidad de la inversión de un compresor de desplazamiento para funcionar como un expansor de desplazamiento, gracias a ello una sola unidad podría funcionar en ambos modos (Ciclo orgánico Rankine- Bomba de calor) Con el objetivo de proporcionar electricidad en los meses de verano y calefacción en los meses de invierno, aunque aún está en fase experimental [42].

CAPÍTULO 5 POTENCIAL GEOTÉRMICO EN CANARIAS

5.1 Definición de energía geotérmica

La energía geotérmica es una energía renovable que consiste en el aprovechamiento de la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie de la tierra. Es una fuente inagotable de energía los 365 días del año las 24 horas al día, ya que mantiene una temperatura prácticamente constante a lo largo del año en la que no influyen las condiciones meteorológicas del momento (sol, viento, etc).

En la **Figura 5.1** se puede apreciar el gradiente geotérmico que se produce en el subsuelo.

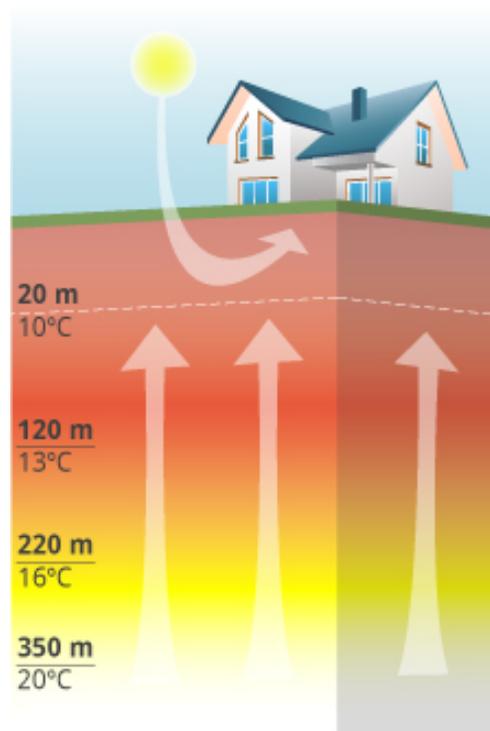


Figura 5.1: Gradiente geotérmico del subsuelo (Fuente GROEN.ES)

5.2 Tipos de energía geotérmica

La energía geotérmica se clasifica según su nivel térmico, o lo que es lo mismo, su entalpía, factor que condiciona claramente el aprovechamiento que se puede hacer de ella. Los valores de temperatura establecidos como límite para su diferenciación varían según los autores. Los admitidos por la *Plataforma Tecnológica Española de Geotermia* (GEOPLAT) son :

- **Geotermia de alta entalpía ($T > 150^{\circ}\text{C}$):** Se encuentran principalmente en zonas con gradientes geotérmicos elevados y se sitúan a profundidades muy variables (de 1500 a 3000 m.) Se aprovechan generalmente para la producción de electricidad.
- **Geotermia de media entalpía ($T: 100-150^{\circ}\text{C}$):** Pueden encontrarse a profundidades inferiores a los 2000 metros o en cuencas sedimentarias entre los 3000 y 4000 metros, se aprovechan para la producción de electricidad mediante ciclos binarios y para uso térmico en calefacción y refrigeración en sistemas urbanos.
- **Geotermia de baja entalpía ($T: 30-100^{\circ}\text{C}$):** Se localizan en zonas con gradientes geotérmicos normales a profundidades entre 1500 y 2500 m, o a profundidades inferiores a los 1000m en zonas con un gradiente geotérmico más elevado. Su uso se basa en sistemas de calefacción y refrigeración y sistemas de ACS. Lo mas frecuente es el aprovechamiento de su energía mediante bombas de calor.
- **Geotermia de muy baja entalpía ($T < 30^{\circ}\text{C}$):** Las temperaturas de estos recursos suelen acercarse a la media anual del lugar donde se captan, se sitúan a profundidades inferiores a 200 m. La energía renovable puede captarse de manera muy eficiente dada la estabilidad térmica del subsuelo ya que es prácticamente estable durante todo el año. Su aplicación son los usos directos del calor: aporte energético a sistemas de ventilación, calefacción y refrigeración con o sin utilización de bombas de calor.

Los sistemas geotérmicos de baja entalpía a su vez, según la manera de subir el calor, pueden ser de circuito cerrado o de circuito abierto. Los primeros utilizan sondas geotérmicas horizontales o verticales; y los segundos aprovechan las aguas freáticas

como vehículo para extraer el calor, requiriendo como mínimo un pozo de captación y otro de rechazo.

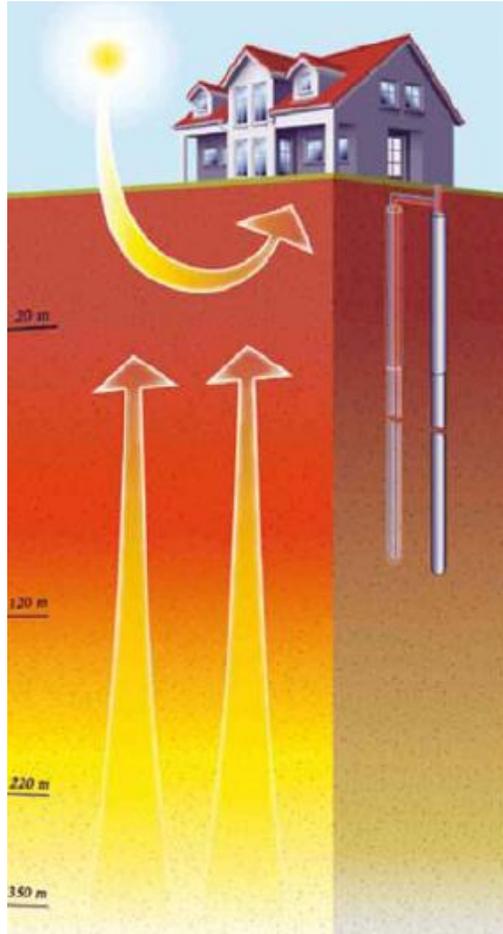


Figura 5.2: Ejemplo gráfico de bomba de calor geotérmica (Fuente GROEN.ES)

5.3 Energía geotérmica en Canarias

El origen volcánico de las islas es fuente de un buen potencial de energía geotérmica, las investigaciones realizadas por el instituto geológico y minero de España, han puesto de relieve la probabilidad de existencia de yacimientos de vapor o mezcla de agua y vapor en varias áreas

de Tenerife, lo cual constituye energía geotérmica de alta entalpía y se podría aprovechar para la generación de electricidad.

Pero en que concierne a este trabajo, es de interés que las posibilidades de explotación de acuíferos con bomba de calor, son muy escasas debido a la gran profundidad a la que se encuentra el nivel de agua subterránea, con excepción a las zonas costeras en las que el relieve se mantiene bajo. Donde también se posee un gran potencial debido a la climatología, altitud y latitud es para la realización de pequeñas instalaciones geotérmicas cerradas para viviendas aisladas con demandas de climatización y ACS [43,44].

Existen diferentes instalaciones referentes realizadas con geotermia de baja entalpía en las Islas Canarias; aplicadas a instalaciones de aire acondicionado, climatización de piscinas y preparación del agua caliente sanitaria (ACS). Con la utilización de estos sistemas no solamente se obtiene un ahorro de los costos energéticos sino que también se disminuyen las emisiones de CO2 [45].

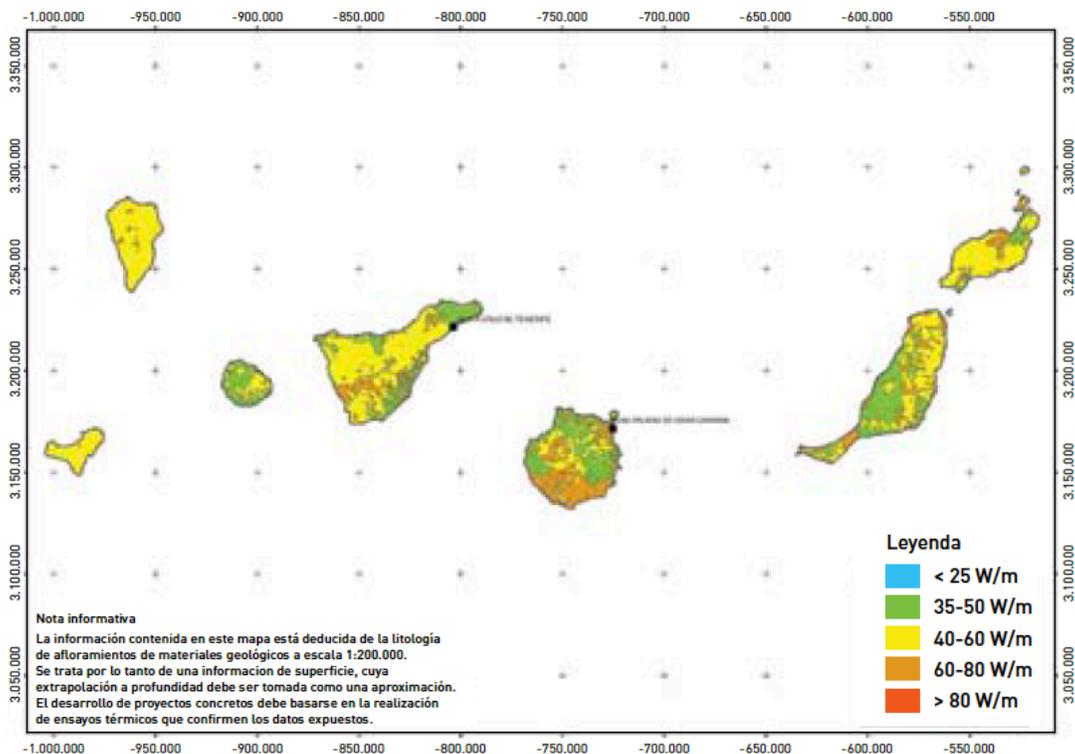


Figura 5.3: Mapa de potencia térmica superficial de las Islas Canarias (Fuente IDAE.ES)

CAPÍTULO 6 CLIMATOLOGÍA EN CANARIAS

El clima dominante en Canarias es subtropical seco y húmedo, pero debido a su posición en medio del Atlántico y a su relieve existen numerosos microclimas muy significativos [46]. Las Islas Canarias están, predominantemente, bajo el dominio de los vientos alisios procedentes del flanco oriental del anticiclón de las Azores. Estos vientos son muy constantes y tienen una velocidad regular, entre 20 y 22 km/h, y una componente que varía entre el este y el noreste. Estos vientos soplan de forma casi permanente. En verano tienen una frecuencia de hasta el 90%, mientras que en el invierno esta proporción se reduce al 50%. El rasgo más interesante de estos vientos es su estratificación en dos capas, una baja, fresca y húmeda (procedentes del norte y noreste, que actúan entre el nivel del mar y los 1.500 metros de altitud) [47] y otra alta, caliente y seca que sopla por encima de los 1.500 metros, y que son fruto de la circulación general del oeste .

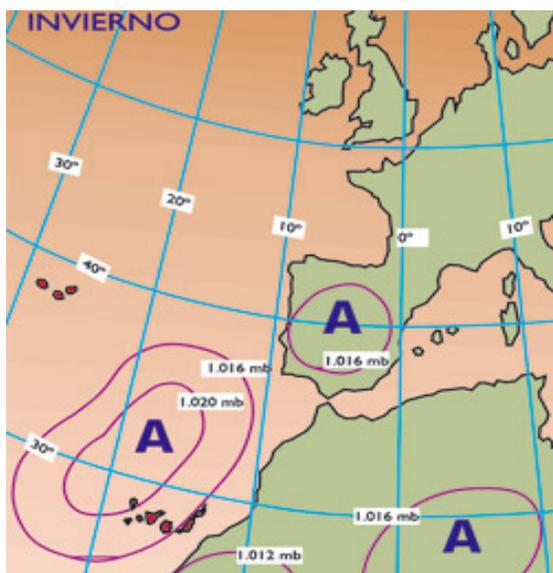


Figura 6.1 En invierno el anticiclón de las Azores se sitúa cerca del Archipiélago. Por tanto hay más calma y los vientos tienen menor recorrido para recoger la humedad que forman las nubes.

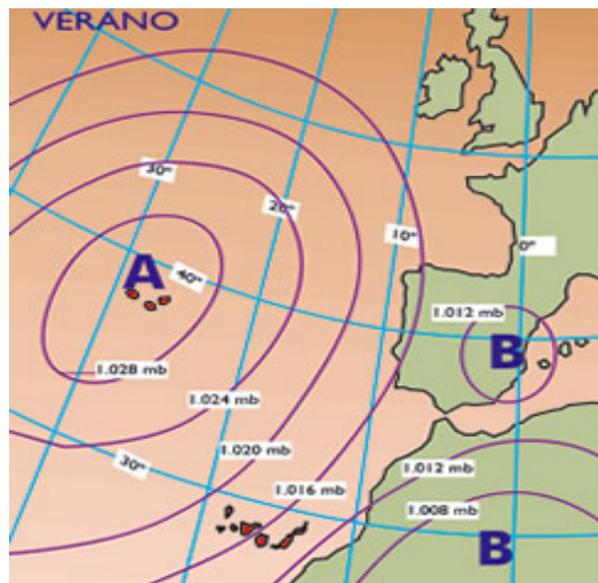


Figura 6.2 En verano, el anticiclón se sitúa más lejos de Canarias, en las Azores, esto facilita que los alisios en un recorrido más largo, recojan más humedad, propiciando el “mar de nubes”.

6.1 Inversión térmica

Esta circunstancia genera una inversión térmica de límites variables y cuya consecuencia más llamativa es la aparición de un «mar de nubes» en las vertientes orientadas a los vientos dominantes. El mar de nubes crea un efecto invernadero que contribuye a la estabilidad térmica de las zonas bajas. Además, estas nubes impiden la llegada de grandes cantidades de rayos solares al mar, lo que contribuye a la estabilidad de la corriente fría de Canarias, una corriente marina que suaviza las temperaturas del archipiélago.

6.2 Corrientes marinas

El clima de Canarias está templado por la corriente marina fría de Canarias. Esta corriente marina procedente del norte es una bifurcación de la corriente del Golfo, que al encontrarse con las Azores se divide en dos ramales, uno cálido que va hacia el norte y otro frío que desciende hasta Canarias, tras pasar por la costa sur de Portugal y la occidental del norte de África. En Canarias los vientos alisios tienden a desplazar las aguas superficiales hacia el centro del Atlántico favoreciendo el ascenso de las aguas frías, que por lo general viajan más profundas. La presencia de la corriente fría atenúa la estratificación en dos capas de los alisios.

La combinación de los vientos, la corriente marina y los centros de acción hace que las temperaturas en Canarias sean notablemente estables y menos calurosas de lo que a su latitud le corresponderían. Las temperaturas más altas se alcanzan en agosto, aunque septiembre tiene prácticamente la misma media. Las temperaturas más frías se dan en enero, seguida muy de cerca de febrero. La oscilación térmica entre el mes más cálido y el más frío está por debajo de los 10°C, entre los 17 °C y los 25°C; salvo en las cumbres montañosas que puede llegar a los 13°C. La presencia de la corriente fría de Canarias hace que las olas de calor lleguen antes a las capas altas que a las bajas.

6.3 Clasificación climática según Código Técnico de la Edificación

En el código técnico de la edificación en su documento básico HE ahorro de energía, apéndice B, tabla B.2 que se ve reflejada en la imagen siguiente, nos clasifica los climas de las dos provincias en función de la altitud en la que nos encontremos

Tabla B.2.- Zonas climáticas de las Islas Canarias

Zonas climáticas Canarias						
Capital	Z.C.	Altitud	$\alpha 3$	A2	B2	C2
Palmas de Gran Canaria, Las	$\alpha 3$	114	$h < 350$	$h < 750$	$h < 1000$	$h \geq 1000$
Santa Cruz de Tenerife	$\alpha 3$	0	$h < 350$	$h < 750$	$h < 1000$	$h \geq 1000$

Figura 6.3 (Fuente: Documento Básico HE – Código Técnico de la Edificación)

Tenemos por tanto, cuatro climas clasificados según la última actualización del documento básico HE ahorro de energía que data de septiembre de 2013, los climas: $\alpha 3$, A2, B2 y C2, ya que en la anterior versión los clasificaba en dos climas: el A3 que eran las zonas inferiores a 800 metros de altitud y el B3 las zonas por encima de dicha cota [48].

CAPÍTULO 7 APLICACIONES DE LAS BOMBAS DE CALOR EN CANARIAS

En las islas Canarias el modelo energético se caracteriza por ser totalmente dependiente del exterior, basado en el uso del petróleo y sus derivados. Los sistemas eléctricos insulares presentan además redes eléctricas pequeñas y débiles que limitan la penetración de las energías renovables, variables e intermitentes. Esta dependencia de los combustibles fósiles ejerce fuertes presiones medioambientales por lo que urge el desarrollo de tecnologías que nos permitan reducir las emisiones de CO₂ que genera el empleo de estos combustibles para satisfacer nuestras demandas de energía. La condición de región insular de las Islas Canarias, obliga a la importación de productos energéticos para abastecer casi la totalidad de sus necesidades energéticas. La elevada dependencia de la desalación de agua del archipiélago, el elevado consumo energético de los procesos de desalación y la ausencia de gas natural y energía nuclear en su mix energético, hace que Canarias sea particularmente vulnerable a medio y largo plazo ante el encarecimiento de los precios del petróleo, su eventual escasez por el alza mundial de la demanda y la reducción de la producción por el agotamiento de los pozos en los países productores.

El Gobierno de Canarias, para paliar esta situación y contribuir al objetivo comunitario para 2020, se ha fijado como meta para 2015 que el 30% de la energía eléctrica necesaria para abastecer el consumo de las Islas se produzca a partir de fuentes renovables (solar, fotovoltaica y eólica) tal y como propone el Plan Energético de Canarias (PECAN 2006). Este plan define objetivos concretos respecto a la implementación de energías renovables en el archipiélago [49]. Esto unido a medidas de eficiencia energética ayudarán a Canarias en un camino hacia la sostenibilidad.

He dividido en dos bloques los tipos de edificios donde puede haber un mayor aprovechamiento con las tecnologías de bomba de calor:

- Los destinados al turismo: tales como los hoteles, los bloques de apartamento y bungalows. Que generalmente suelen estar en los focos turísticos de las islas y cercanos a la costa.
- Los edificios residenciales, pueden estar emplazados a los largos de toda la orografía, así que en función de la altitud en la que se encuentren podrán tener o no demandas de calefacción.

7.1 Edificios destinados al turismo

La economía canaria está basada fundamentalmente en el sector terciario (74%), ello es debido a la climatología privilegiada de la que disponemos en la que tenemos sol y temperaturas sin grandes oscilaciones prácticamente los 365 días del año. Canarias constituye la segunda región española que mayor número de turistas extranjeros recibe detrás de Cataluña. Canarias recibe más de 11,5 millones de turistas extranjeros anualmente. En este aspecto Tenerife, según los datos es el principal destino turístico en las islas, con el 37% del total, le sigue Gran Canaria con un 31% y luego Lanzarote y Fuerteventura con un 16,28% y un 13,30% respectivamente [50]. El número total de establecimientos hoteleros es de 626 y de 1157 extrahoteleros lo que suman un total de 1783 establecimientos dedicados al turismo [51] lo que se dividiría por islas de la siguiente manera:

- **Gran Canaria:** Viajan cerca de tres millones y medio de turistas cada año. Los centros turísticos principales se encuentran en el sur de la isla a lo largo de las zonas costeras y junto al campo dunar de Maspalomas y Playa del Inglés. Habiendo un total de 164 hoteles y 425 de establecimientos extrahoteleros.
- **Tenerife:** A Tenerife viajan más de cinco millones y medio de turistas cada año, lo que la convierte en la isla que más turistas recibe. Los centros del turismo están en la costa en

el norte, como Puerto de la Cruz y en el sur en Los cristianos, Costa de Adeje, Playa las Americas. Contando con un total de 237 hoteles y 186 establecimientos extrahoteleros.

- **Fuerteventura:** A Fuerteventura viajan cerca de dos millones de turistas cada año. El turismo se concentra en las costas del este de la isla, en torno a localidades como Corralejo o Caleta de Fuste. Habiendo un total de 83 hoteles y 79 de establecimientos extrahoteleros.
- **Lanzarote:** viajan 2 millones y medio de turistas al año. Los centros del turismo están en Costa Teguise, Puerto del Carmen, Playa Blanca y los pueblos en las playas de Papagayo. Contando con un total de 71 hoteles y 191 establecimientos extrahoteleros.
- **El Hierro, La Gomera y La Palma:** son las islas más pequeñas y más occidentales, viajan cerca de trescientos mil turistas cada año. Se cuenta entre las tres islas un total de 72 hoteles y 276 establecimientos extrahoteleros.



Figura 7.1: Principales focos turísticos en Canarias

Debido al alto número de establecimientos dedicados al turismo que contamos en Canarias, existe un gran consumo energético en la climatización de piscinas y en cuanto a refrigeración de las estancias, ya que el turista por regla general es bastante exigente.

El principal problema radica en que estos establecimientos mantienen en funcionamiento instalaciones antiguas con generadores de calor y de frío obsoletos, cuyos rendimientos están claramente por debajo de los equipos fabricados hoy en día. Esta es la causa principal de los altos consumos de electricidad y gas de las instalaciones térmicas, lo que repercute en grandes emisiones de CO₂.

Por ello es recomendable para grandes establecimientos turísticos, con altas exigencias en términos de confort por parte de los clientes como pueden ser los hoteles y edificios de apartamentos, la instalación de energía geotérmica renovable de baja entalpía con una bomba de calor geotérmica que pueda actuar como generadora de frío para la refrigeración, generadora de calor para la climatización de piscinas y pueda cubrir parte de la demanda de ACS trabajando en apoyo con otras tecnologías ya puedan ser : calderas convencionales, calderas biomasas, colectores solares. Con la implantación del sistema geotérmico se podría llegar a reducir el consumo energético de estas tres instalaciones técnicas en un alto porcentaje [52] esto en edificios ya existentes, en edificios de nueva construcción donde se adopten medidas de eficiencia energética en el diseño del edificio tales como: orientación , ventilación , dispositivos de protección solar... etc, que consigan disminuir la demanda energética de refrigeración el consumo de esta instalación térmica sería incluso menor [53,54].

7.2 Edificios residenciales

En los edificios residenciales la demanda de las instalaciones térmicas es sensiblemente menor que los edificios destinados a uso turístico, pero debido a las diversas zonas climáticas clasificadas por el CTE y que se exponen en el capítulo anterior, clasificaría las viviendas en dos grupos en función de la altitud:

- Las viviendas que se encuentran por encima de 750 metros de altitud
- Las que están por debajo de los 750 metros de altitud.

Esta clasificación es porque en aquellos edificios que se encuentren a más de 800 metros de altitud habrá demanda de calefacción. Aunque a estas altitudes no se destacan grandes concentraciones urbanas y predominan las viviendas unifamiliares.

En la **figura 7.2** se muestra un mapa de elevaciones donde se aprecia que en las islas orientales más Gran Canaria son las islas más montañosas, ya que en Fuerteventura y Lanzarote apenas se superan los 800 metros.

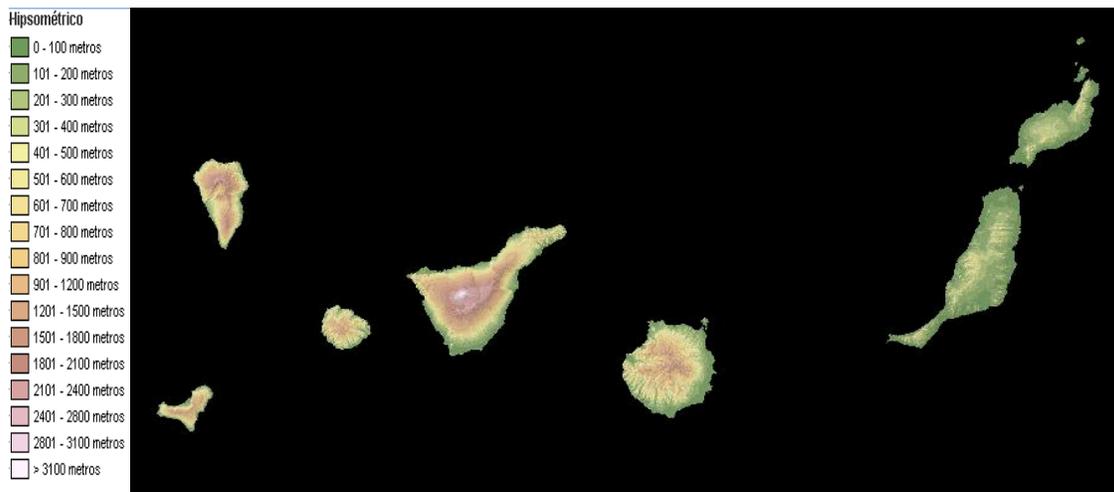


Figura 7.2: Mapa de elevaciones (Fuente GRAFCAN)

En edificios cercanos a la costa, siempre y cuando hayan sido diseñados con medidas de eficiencia energética se podría centralizar la instalación de ACS con la instalación de Aerotermos, ya que en Canarias la aerotermia es una opción bastante factible debido a que no hay grandes oscilaciones térmicas y su rendimiento no se ve afectado en exceso, aunque

también se podría instalar geotermia siempre y cuando el terreno lo permita, para abastecer de ACS. En cuanto a la refrigeración como se ha dicho anteriormente en edificios de nueva construcción si esta bien diseñado no tendría que ser necesario el uso de instalaciones de refrigeración, aunque en el caso que se requiriera se podría hacer uso tanto de la geotermia como de la aerotermia.

En los edificios que se encuentran a más de 800 metros de altitud la solución óptima sería el uso de la geotermia (con colectores horizontales o verticales ya que la de pozo solo es viable en zona próximas a la costa) tanto para ACS como para climatización, ya que a estas altitudes las oscilaciones térmicas empiezan a ser importantes lo que afecta al rendimiento de la aerotermia.

7.3 Potencial de sistemas híbridos

Canarias posee un potencial enorme en lo que a energías renovables se refiere, para reducir más las emisiones de CO₂, ya que las bombas de calor tienen un pequeño consumo eléctrico para conseguir el gran aporte energético que generan, este podría ser totalmente cubierto o un gran porcentaje de ese consumo, por la uso de sistemas híbridos que podrían ser :

- Bombas de calor / Placas solares Fotovoltaicas
- Bombas de calor / Minieólica

7.3.1 Potencial fotovoltaico en Canarias

Canarias dispone del mayor número de horas de sol de toda Europa con la intensidad apropiada para su utilización como fuente de energía. El mes de julio es, en general, el mes en el que se registran los valores máximos de irradiación global y directa y en diciembre se registran los valores mínimos; además, el aumento en la irradiancia durante los meses en torno al equinoccio de otoño es más lento que la disminución de la irradiancia en los meses próximos al

equinoccio de primavera. La irradiación diaria media anual está en torno a los 4 kWh/m², y un potencial fotovoltaico medio aproximado de unos 1400 kWh al año siendo ligeramente mayor en las islas orientales.

Por tanto y siempre que se disponga de superficie libre en las cubiertas del edificio sería una excelente combinación con las bombas de calor.

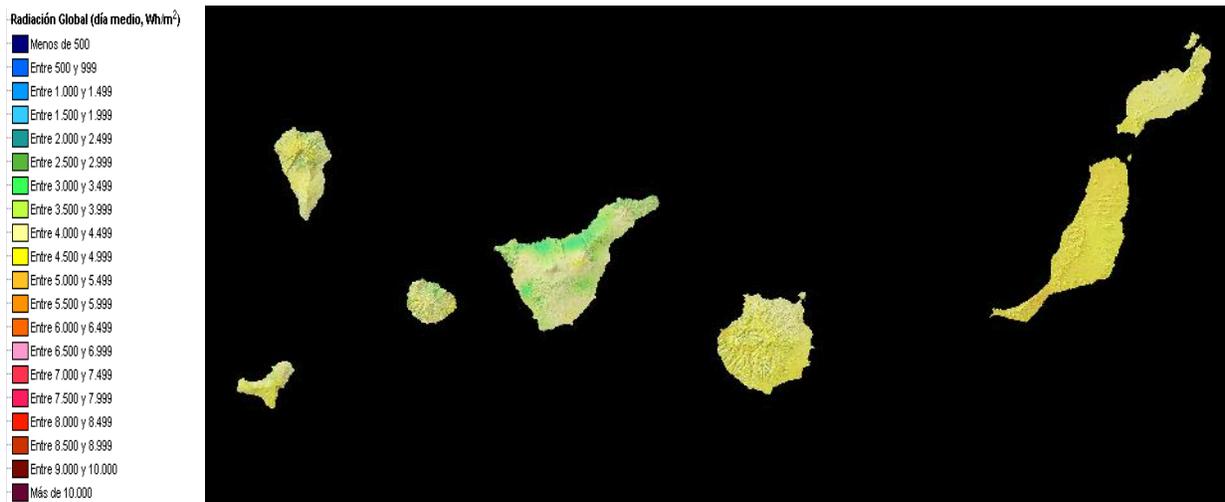


Figura 7.3: Mapa de Irradiación en Canarias medido en Wh/m²(Fuente GRAFCAN)

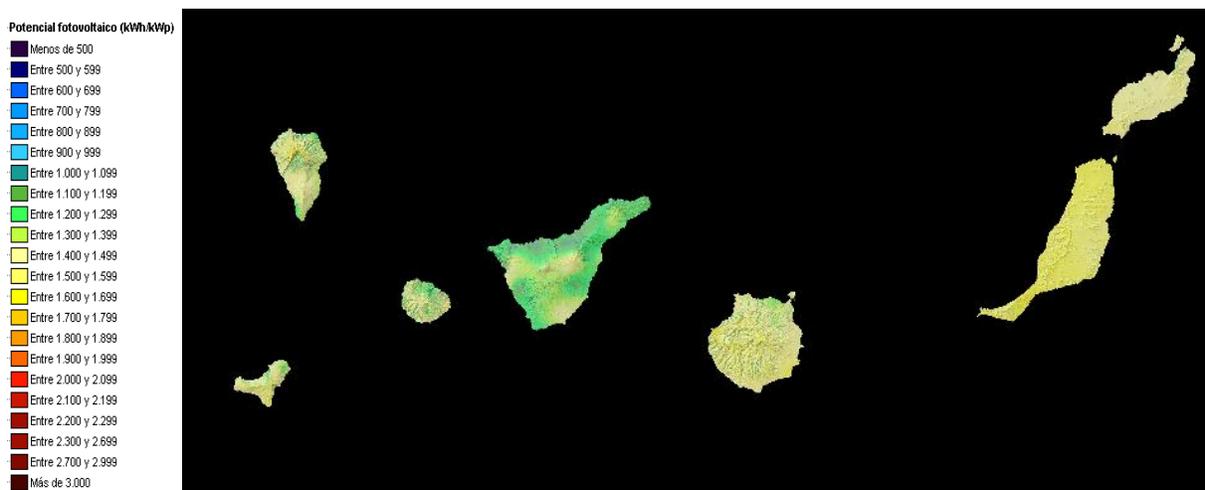


Figura 7.4: Potencial fotovoltaico en Canarias medido en kWh/año (Fuente GRAFCAN)

7.3.2 Potencial eólico en Canarias

Las Islas Canarias presentan óptimas condiciones para la explotación a gran escala de la energía eólica. Uno de los factores que determina el clima de Canarias, además de la corriente marina fría, el relieve y la proximidad al continente africano, son los vientos Alisios.

El régimen de vientos en Canarias manifiesta una clara variación estacional y una marcada componente direccional, siendo la frecuencia de los vientos de componente noroeste mínima en los meses de invierno, del orden del 50%, y máxima en los meses de verano, entre el 90-95%. Además, la magnitud de tales vientos hace que en lugares donde la cercanía al mar combina el Alisio con corrientes locales (brisas) y con aceleraciones debidas a la orografía se produzcan potenciales eólicos muy elevados, óptimos para su explotación energética.

El recurso eólico de las velocidades medias del viento diarias a diferentes alturas como se muestra en las **Figuras 7.5, 7.6, 7.7**, refleja el gran potencial eólico disponible y aprovechable.

Por tanto en los edificios en los la instalación de minieólica pudiera ser factible siempre y cuando, el flujo del viento predominante no pueda ser afectado, ya sea por otro edificio u otro tipo de obstáculo, sería una opción a tener en cuenta a la hora de realizar un sistema híbrido en conjunción a una bomba de calor.

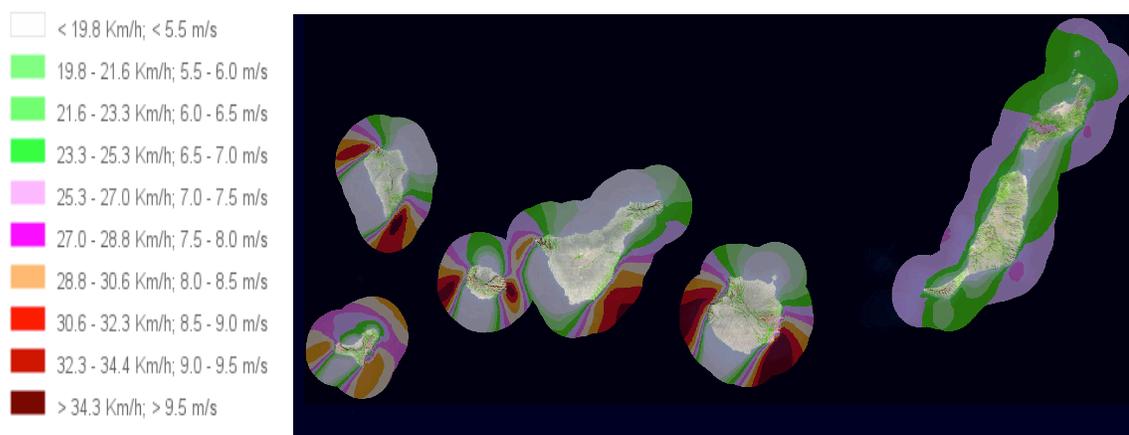


Figura 7.5: Recurso eólico en Canarias a 40 metros (Fuente GRAFCAN)

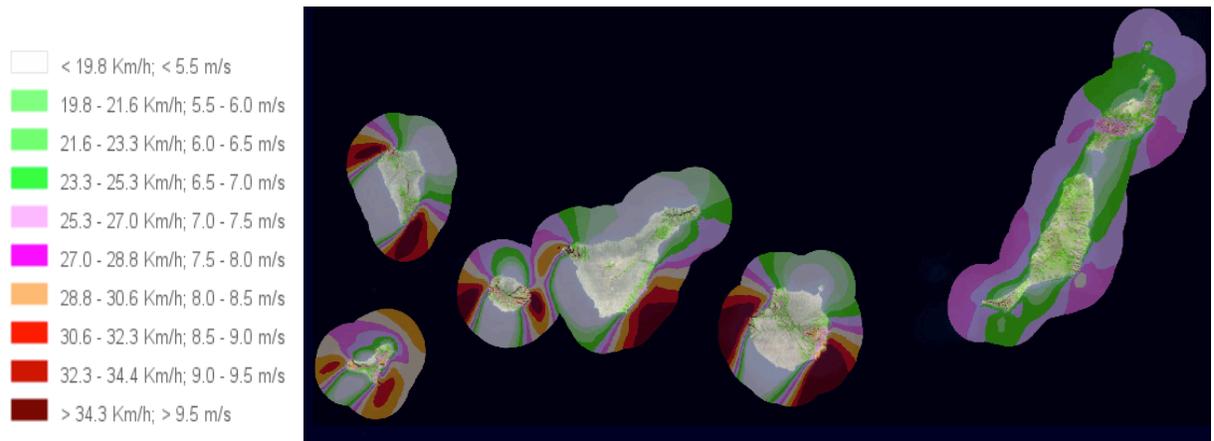


Figura 7.6: Recurso eólico en Canarias a 60 metros (Fuente GRAFCAN)

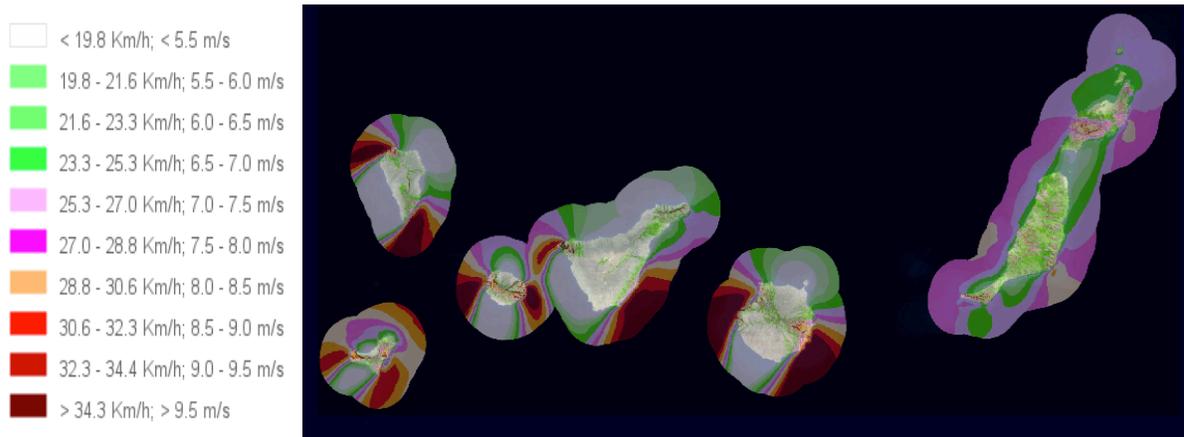


Figura 7.7: Recurso eólico en Canarias a 80 metros (Fuente GRAFCAN)

CAPÍTULO 8 VALORACIÓN ENERGÉTICA DE LAS BOMBAS DE CALOR EN CANARIAS

Para poder hacernos la idea del posible impacto de las bombas de calor en Canarias he realizado unas estimaciones de cálculo comparando el uso de bombas de calor con fuentes convencionales en tres casos distintos:

1. Comparativa de uso para abastecer de ACS en tres emplazamientos distintos con climas diferentes en edificios residenciales con:
 - Bombas de calor Aerotérmicas
 - Termos Eléctricos
 - Placas solares térmicas en combinación con termos eléctricos
2. Comparativa de uso para calefacción en dos emplazamientos distintos con climas diferentes en edificios residenciales con:
 - Bomba de calor geotérmica
 - Calefacción eléctrica
3. Comparativa de uso en un hotel para abastecimiento de ACS, refrigeración y climatización de piscinas con :
 - Bomba de calor geotérmica de alta potencia

8.1 Metodología

1) Zona Climática:

Se ha de elegir la zona climática donde se encuentra emplazado el edificio según la clasificación climática del apéndice B del Documento Básico de ahorro de energía HE1 del CTE .

2) Estimación de demandas:

A. Demanda de ACS:

Para determinar la demanda de ACS se hará uso de la fórmula :

$$Demanda ACS = V \cdot (T1 - T2) \cdot \frac{C}{3600}$$

Donde:

- V es el consumo anual de ACS expresado en litros, y para valorarlo hacemos uso de la tabla 4.1 del Documento Básico de ahorro de energía HE4 del CTE en función al uso del edificio y su ocupación. [48]
- T1 es la temperatura a la que queremos aumentar el agua expresada en °C y cuya demanda de referencia es 60°C
- T2 es la temperatura del agua de la red y se encuentra en la tabla B.1 del apéndice B del Documento Básico de ahorro de energía HE4 del CTE, en los casos donde la capital de la provincia no coincide con el emplazamiento a estudiar se corregirá la temperatura ambiente diaria media mensual (T_{ambY}) según la temperatura de la capital de provincia (T_{ambCP}) y la diferencia de altura con respecto a esta ($Az =$ Altura de la localidad $-$ Altura de la Capital de provincia) $T_{ambY} = T_{ambCP} - B \cdot Az$ [6]
- C es el calor específico del agua expresado en kJ/kg·°C

B. Demanda de Calefacción y Refrigeración

Para hallar la demanda de calefacción y refrigeración se ha hecho uso del programa de certificación energética CE3X promovido por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, teniendo en cuenta los siguientes datos:

- Zona climática
- Orientación del edificio
- Características de los huecos (Materiales, características de los vidrios)
- Transmitancias térmicas de la envolvente térmica (fachada, cubierta, suelo en contacto con el aire, suelo en contacto con el terreno)
- Puentes térmicos

- Dispositivos de protección solar
- Objetos que producen sombra

En función de estos parámetros el programa nos da unos indicadores globales de demanda de refrigeración y calefacción expresados en kWh/m2 anuales.

C. Demanda energética en piscina al aire libre

Para hallar la demanda energética hacemos uso del **Pliego de condiciones técnicas de baja temperatura** [55] del IDAE donde especifica lo siguiente:

En piscinas al aire libre se tendrán en cuenta los distintos tipos de pérdida de energía:

- Por radiación del agua hacia la atmósfera, más acentuadas por la noche.
- Por evaporación del agua.
- Por convección, influidas por el viento.
- Por conducción, por las paredes de la piscina.
- Por arrastre y salpicaduras de agua.

Para el cálculo de las pérdidas energéticas en piscinas al aire libre, se utilizará la siguiente fórmula empírica:

$$P \text{ (kW)} = [(28 + 20v) (t_{WS} - t_{BS}) SW] / 1000$$

donde:

- t_{WS} = Temperatura del agua (°C)
- t_{BS} = Temperatura del aire (°C)
- v = Velocidad del viento (m/s)
- SW = Superficie de la piscina (m²)

3) Cálculo del SCOPneto mínimo o SPF

La **Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo** [6] especifica que las bombas de calor para

que sean consideradas como energía renovables tienen que tener un SCOPneto mínimo que dependiendo de las características de la bomba de calor a emplear varían como se muestra en la figura siguiente

Fuente energética de la bomba de calor:	Fuente energética y medio de distribución	Condiciones climáticas					
		Clima más cálido		Clima medio		Clima más frío	
		H _{HP}	SPF (SCOP _{net})	H _{HP}	SPF (SCOP _{net})	H _{HP}	SPF (SCOP _{net})
Energía aerotérmica	Aire-Aire	1 200	2,7	1 770	2,6	1 970	2,5
	Aire-Agua	1 170	2,7	1 640	2,6	1 710	2,5
	Aire-Aire (reversible)	480	2,7	710	2,6	1 970	2,5
	Aire-Agua (reversible)	470	2,7	660	2,6	1 710	2,5
	Aire de salida-Aire	760	2,7	660	2,6	600	2,5
	Aire de salida-Agua	760	2,7	660	2,6	600	2,5
Energía geotérmica	Tierra -Aire	1 340	3,2	2 070	3,2	2 470	3,2
	Tierra-Agua	1 340	3,5	2 070	3,5	2 470	3,5
Calor hidrotérmico	Agua-Aire	1 340	3,2	2 070	3,2	2 470	3,2
	Agua-Agua	1 340	3,5	2 070	3,5	2 470	3,5

Figura 8.1 Cuadro 1 Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013

Para determinar el SPF de la bomba de calor a emplear precisamos conocer el factor de ponderación (FP) y factor de corrección (FC) correspondientes, para ello hacemos uso del del **documento prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios** del IDEA [56]

El FP se obtendrá de la tabla 4.1 conforme a la zona climática del emplazamiento del edificio y al tipo de bomba de calor empleado.

Fuente Energética de la bomba de calor	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipos centralizados	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo split	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Figura 8.2 Tabla 4.1 para sistemas de calefacción o ACS con bombas de calor en función de las fuentes energéticas según la zona climática del documento prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios

El FC se obtendrá de la tabla 4.2 en función de la temperatura de ensayo del COP proporcionado por el fabricante y la temperatura a la que se quiere aumentar el agua.

Tª de condensación (°C)	Factor de Corrección (FC)					
	FC (COP a 35°C)	FC (COP a 40°C)	FC (COP a 45°C)	FC (COP a 50°C)	FC (COP a 55°C)	FC (COP a 60°C)
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Figura 8.3 Tabla 4.2 Factores de corrección en función de las temperaturas de condensación, según la temperatura del ensayo del COP

Conociendo ya ambos factores el cálculo sería:

$$SPF = COP_{nominal} \times FP \times FC$$

Donde el SPF siempre tiene que ser superior al mínimo sino la bomba de calor no sería considerada como energía renovable por la directiva europea.

4) Cálculo de producción renovable de la bomba de calor

La cantidad de energía aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica capturada por bombas de calor que debe considerarse energía procedente de fuentes renovables se denomina ERES y se determina según el anexo VII de la Directiva, la cantidad de energía renovable suministrada mediante tecnologías de bombas de calor (ERES) se calcula con la fórmula siguiente:

$$E_{RES} = Q_{usable} * (1 - 1/SPF)$$

$$Q_{usable} = H_{HP} * P_{rated}$$

Siendo:

- Q_{usable} = calor útil total estimado proporcionado por bombas de calor [kWh];
- H_{HP} = horas equivalentes de funcionamiento a plena carga [h] que se encuentra en el cuadro 1;
- P_{rated} = potencia de las bombas de calor instaladas, teniendo en cuenta la duración de los diferentes tipos de bombas de calor [kW];
- SPF = factor de rendimiento medio estacional estimativo (SCOP net o SPER net).

5) Cálculo del consumo de energía primaria no renovable y las emisiones de CO₂

Para el cálculo de energía primaria y el cálculo de las emisiones de CO₂ se hace uso del documento *“Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España”* [57] proporcionado por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital en el siguiente cuadro :

Factores de conversión de energía final a primaria					
	Fuente	Valores aprobados			Valores previos (****)
		kWh E.primaria renovable /kWh E. final	kWh E.primaria no renovable /kWh E. final	kWh E.primaria total /kWh E. final	kWh E.primaria /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,396	2,007	2,403	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,414	1,954	2,368	2,61
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,075	2,937	3,011	3,35
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,082	2,968	3,049	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,070	2,924	2,994	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,072	2,718	2,790	
Gasóleo calefacción	(***)	0,003	1,179	1,182	1,08
GLP	(***)	0,003	1,201	1,204	1,08
Gas natural	(***)	0,005	1,190	1,195	1,01
Carbón	(***)	0,002	1,082	1,084	1,00
Biomasa no densificada	(***)	1,003	0,034	1,037	
Biomasa densificada (pelets)	(***)	1,028	0,085	1,113	

Figura 8.4 Factores de conversión de energía final a primaria

Para el cálculo de las emisiones hacemos uso de la siguiente tabla :

Factores de emisiones de CO2			
	Fuente	Valores aprobados	Valores previos (****)
		kg CO2 /kWh E. final	kg CO2 /kWh E. final
Electricidad convencional Nacional	(*)	0,357	
Electricidad convencional peninsular	(**)	0,331	0,649
Electricidad convencional extrapeninsular	(**)	0,833	0,981
Electricidad convencional Baleares	(**)	0,932	
Electricidad convencional Canarias	(**)	0,776	
Electricidad convencional Ceuta y Melilla	(**)	0,721	
Gasóleo calefacción	(***)	0,311	0,287
GLP	(***)	0,254	0,244
Gas natural	(***)	0,252	0,204
Carbón	(***)	0,472	0,347
Biomasa no densificada	(***)	0,018	neutro
Biomasa densificada (pelets)	(***)	0,018	neutro

Figura 8.5 Factores de emisiones de CO2

6)Justificación de la HE4

Se debe justificar que las emisiones de CO2 y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares, que cubren la demanda de ACS deben ser iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica (contribución solar mínima según tabla 2.1 del CTE HE4) para ello se ha de calcular la instalación solar de referencia.

Para la asignación de la zona climática de la tabla 2.1 se emplea los datos de *Radiación Solar Global media diaria anual* que se recogen en el documento “**Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT**” [58], publicado en el año 2012 por la Agencia Estatal de Meteorología y en donde Canarias está en la Zona Climática V.

8.2 Caso 1- Comparativa ACS edificio de viviendas

Se han elegido tres zonas a estudiar en función de la clasificación del clima del CTE:

- Las Palmas de Gran Canaria que corresponde al clima **α3**
- La Vega de San Mateo que corresponde al clima **B2**
- Tejeda que corresponde al clima **C2**

Suponiendo un edificio de diez viviendas, en la que viven cuatro personas por vivienda, la demanda de ACS según el Documento Básico HE del CTE es de 28 l/día por persona.

Para determinar la demanda de ACS se hace uso de la fórmula :

$$Demanda ACS = V \cdot (T1 - T2) \cdot \frac{C}{3600}$$

La temperatura a la que queremos el agua para su consumo es 60°C, las temperaturas medias a la que esta el agua de la red en los tres emplazamientos son las siguientes:

- Las Palmas de Gran Canaria = 17,08°C.
- San Mateo = 16,3°C
- Tejeda = 14,6°C

Quedando una demanda total de ACS para cada emplazamiento como se aprecia en la siguiente tabla :

	LAS PALMAS DE G.C.	SAN MATEO	TEJEDA
Demanda ACS (kWh)	19964,42933	21176,5554	22246,0784

Para cubrir la demanda de ACS mediante bombas de calor se ha optado por un sistema centralizado mediante cinco bombas de calor Aire-Agua de la marca Ariston modelo Nuos 200 y una potencia térmica de 3 kW cada uno con un COP de 4 para una temperatura de calentamiento de 60°C.

La directiva europea especifica que las bombas de calor Aire-Agua para que sean consideradas como energía renovables tienen que tener un SCOPneto mínimo de 2,7 y unas horas equivalentes de funcionamiento a plena carga de 1170, tal y como se muestra en la **Figura 8.1**

Entonces para el cálculo de SPF o SCOP mínimo el factor de ponderación (FP) será como se muestra en la **Figura 8.2** de:

- 0,88 para Las Palmas de Gran Canaria
- 0,8 para San Mateo
- 0,8 para Tejeda

Y el factor de corrección (FC) como se muestra en la **Figura 8.3** de 0,9 ya que el COP proporcionado por el fabricante es elevando el agua a una temperatura de 55°C y nosotros queremos elevarla a 60°C.

Quedando:

$$\text{SPF Las Palmas} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4 \times 0,87 \times 0,9 = 3,132$$

$$\text{SPF San Mateo} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4 \times 0,80 \times 0,9 = 2,88$$

$$\text{SPF Tejeda} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4 \times 0,80 \times 0,9 = 2,88$$

Por lo tanto en las tres zonas superan el SCOPneto mínimo, entonces pueden considerarse como renovables, y la cantidad total de energía renovable suministrada por las bombas sería:

$$Q_{\text{sable}} = 1170 \times 3 \times 5 = 17550 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{RES}} \text{ Las Palmas de Gran Canaria} = 17550 \times 1 - 1/3,132 = 11946 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{RES}} \text{ San Mateo} = 17550 \times 1 - 1/2,88 = 11456,25 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{RES}} \text{ Tejeda} = 17550 \times 1 - 1/2,88 = 11456,25 \text{ kWh}$$

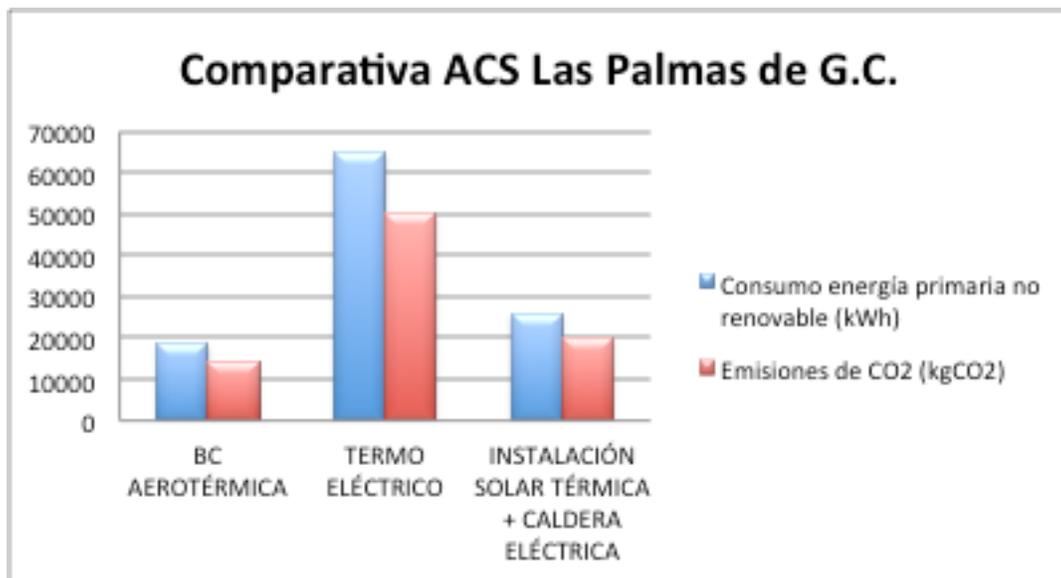
Para la justificación de la HE4 se debe justificar que las emisiones de CO2 y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares, que cubren la demanda de ACS deben ser iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente aportará una contribución, en la zona climática V (zona climática

de Canarias), de un 60 % cuando la demanda es menor a 5000 l/día, en nuestro caso de 1120 l/día.

Para el cálculo de energía primaria y el cálculo de las emisiones de CO2 haciendo uso de las Figuras 8.4 y 8.5 obtenemos el valor 2,937 como factor de conversión de Energía primaria no renovable (kWh) y de 0,776 kg CO2 /kWh Energía Final quedando:

- Para Las Palmas de Gran Canaria

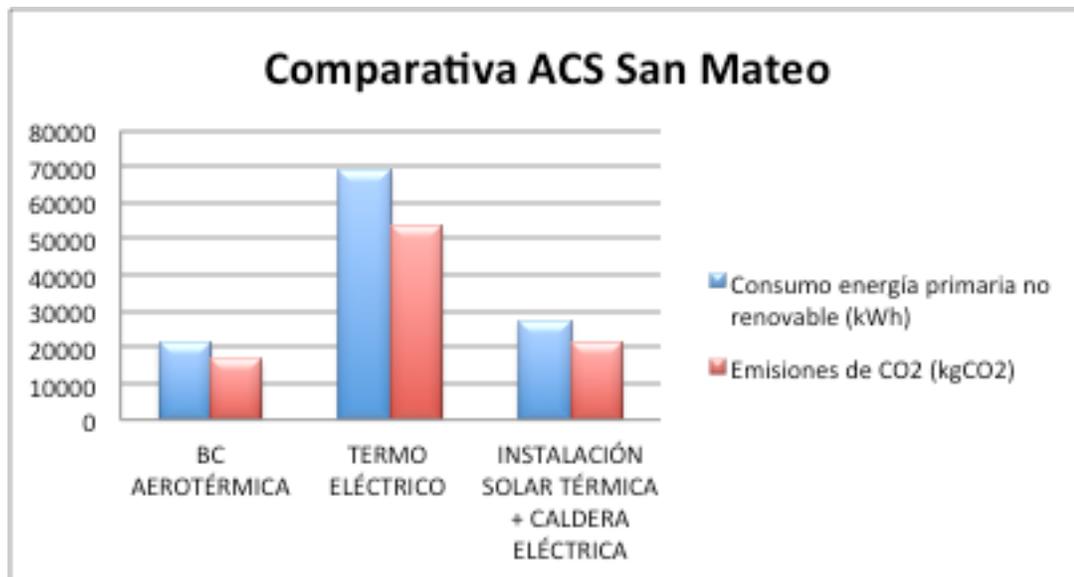
LAS PALMAS DE GRAN CANARIA			
	BC AEROTÉRMICA	TERMO ELÉCTRICO	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA ELÉCTRICA
Demanda ACS (kWh)	19964,42933	19964,42933	19964,42933
Demanda ACS cubierta por paneles solares	-	-	60%
Eficiencia estacional equipo	3,132	0,9	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	6374,338868	22182,69926	8873,079704
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	18638,56685	64862,21263	25944,88505
Emisiones de CO2 (kgCO2)	14463,52787	50333,077	20133,2308



Siendo el consumo de energía primaria no renovable de la bomba de calor menor que el de la instalación solar térmica y cumpliendo así con el HE4 y obteniendo ahorros del 71% en energía primaria con respecto al calentamiento de ACS tradicional y del 28% con respecto a la instalación solar térmica.

- Para San Mateo

SAN MATEO			
	BC AEROTÉRMICA	TERMO ELÉCTRICO	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA ELÉCTRICA
Demanda ACS (kWh)	21176,5554	21176,5554	21176,5554
Demanda ACS cubierta por paneles solares	-	-	60%
Eficiencia estacional equipo	2,88	0,9	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	7352,970625	23529,506	9411,8024
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	21500,08611	68800,27554	27520,11022
Emisiones de CO2 (kgCO2)	16684,06682	53389,01382	21355,60553

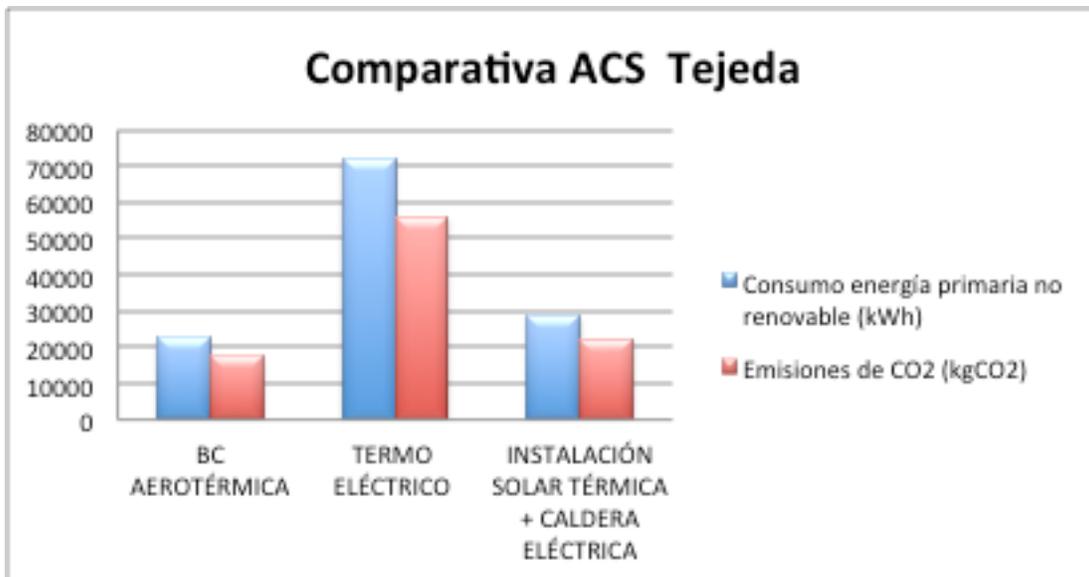


Siendo el consumo de energía primaria no renovable de la bomba de calor menor que el de la instalación solar térmica y cumpliendo así con el HE4 y obteniendo ahorros del 69% en energía

primaria con respecto al calentamiento de ACS tradicional y del 22% con respecto a la instalación solar térmica.

- Para Tejada

TEJEDA			
	BC AEROTÉRMICA	TERMO ELÉCTRICO	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA ELÉCTRICA
Demanda ACS (kWh)	22246,0784	22246,0784	22246,0784
Demanda ACS cubierta por paneles solares	-	-	60%
Eficiencia estacional equipo	2,88	0,9	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	7724,332778	24717,86489	9887,145956
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	22585,94904	72275,03694	28910,01477
Emisiones de CO2 (kgCO2)	17526,69646	56085,42866	22434,17146



Siendo el consumo de energía primaria no renovable de la bomba de calor menor que el de la instalación solar térmica y cumpliendo así con el HE4 y obteniendo ahorros del 68% en energía

primaria con respecto al calentamiento de ACS tradicional y del 21% con respecto a la instalación solar térmica.

8.3 Caso 2 - Comparativa calefacción edificio de viviendas

Se han elegido dos zonas a estudiar en función de la clasificación del clima del CTE:

- La Vega de San Mateo que corresponde al clima **B2**
- Tejada que corresponde al clima **C2**

El edificio a estudiar es un edificio de nueva construcción de 5 plantas y diez viviendas cuyas consideraciones a tener en cuenta a la hora de calcular la demanda de calefacción son :

- Superficie por vivienda de 80 m², teniendo una superficie total construida de 900 m²
- La fachada principal esta orientada al norte y la trasera al sur, siendo muros medianeras los laterales, con una transmitancia térmica de 0,38 W/m²k.
- La transmitancia térmica de la cubierta es de 0,33 W/m²k
- La transmitancia térmica del suelo es de 0,46 W/m²k
- Cada fachada dispone de un total de 20 ventanas de 0,9 de altura por dos metros de longitud, de aluminio color blanco con rotura de puente térmico y con cristales dobles con cámara de aire y un retranqueo de 20 cm cada una.
- Los puente térmicos serían los de los pilares en esquina, pilares en fachada, los encuentros de fachada con forjados .

Quedando una demanda total de calefacción para cada emplazamiento como se aprecia en la siguiente tabla :

	SAN MATEO	TEJEDA
Demanda Calefacción (kWh/año)	5280	10240

La bomba de calor elegida, es una bomba de calor geotérmica de sonda horizontal de la marca TERRA modelo Complete HGL 8 con un COP de 4,6 calentando el agua a 35°C y una potencia térmica de 7,6 kW

La directiva europea especifica que las bombas de calor tierra-agua para que sean consideradas como energía renovables tienen que tener un SCOPneto mínimo de 3,5 y unas horas equivalentes de funcionamiento a plena carga de 1340, como se aprecia en la **Figura 8.1**.

Entonces para el cálculo de SPF o SCOP mínimo el factor de ponderación (FP) será como se muestra en la **Figura 8.2** de:

- 1,01 para San Mateo
- 0,97 para Tejada

Y el factor de corrección (FC) como se muestra en la **Figura 8.3** de 0,87 ya que el COP proporcionado por el fabricante es elevando el agua a una temperatura de 35°C y nosotros queremos elevarla a 40°C.

Quedando:

$$\text{SPF San Mateo} = \text{COPnominal} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4,8 \times 1,01 \times 0,87 = 4,22$$

$$\text{SPF Tejada} = \text{COPnominal} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4,8 \times 0,97 \times 0,87 = 4,05$$

Por lo tanto en las dos zonas superan el SCOPneto mínimo, entonces pueden considerarse como renovables, y la cantidad total de energía renovable suministrada por las bombas sería:

$$Q_{\text{usable}} = 1340 \times 7,6 = 10184 \text{ kWh}$$

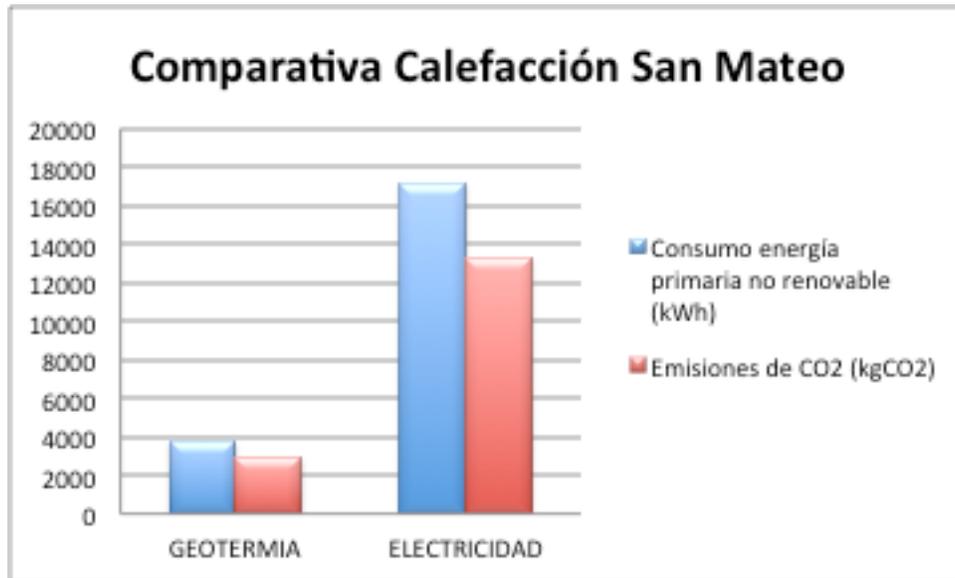
$$E_{RES} \text{ San Mateo} = 10184 \times 1-1/4,22 = 7770,72 \text{ kWh}$$

$$E_{RES} \text{ Tejada} = 10184 \times 1-1/4,05 = 7669,43 \text{ kWh}$$

Las emisiones de CO2 y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares, que cubren la demanda de calefacción haciendo uso de las **Figuras 8.4 y 8.5** obtenemos el valor 2,937 como factor de conversión de Energía primaria no renovable (kWh) y de 0,776 kg CO2 /kWh Energía Final quedando:

- Para San Mateo

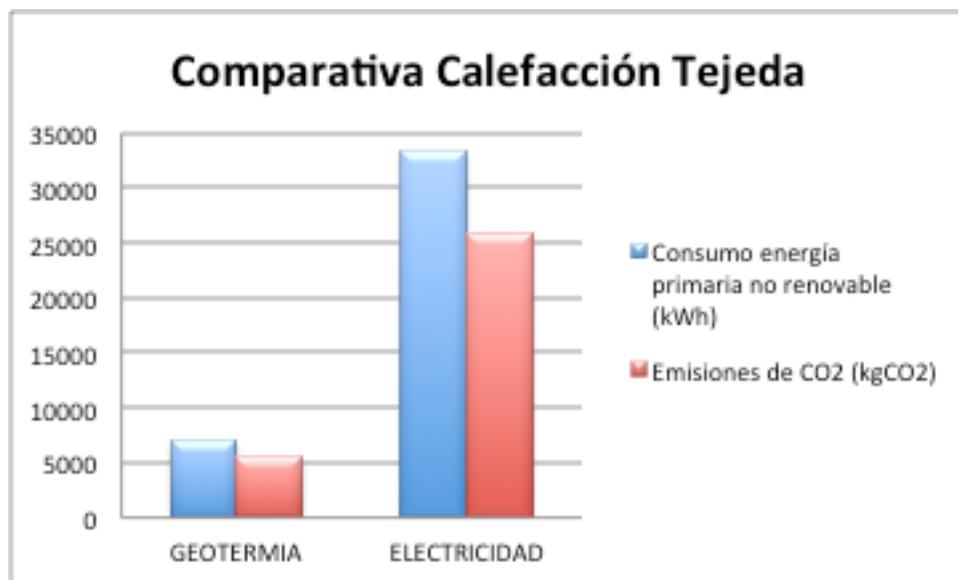
SAN MATEO		
	GEOTERMIA	ELECTRICIDAD
Demanda Calefacción (kWh/año)	5280	5280
Eficiencia estacional equipo	4,05	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	1303,703704	5866,666667
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	3812,02963	17154,13333
Emisiones de CO2 (kgCO2)	289,7142519	13311,60747



Obteniendo ahorros del 78% en energía primaria con respecto a la calefacción tradicional eléctrica.

- Para Tejada

TEJEDA		
	GEOTERMIA	ELECTRICIDAD
Demanda Calefacción (kWh/año)	10240	10240
Eficiencia estacional equipo	4,22	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	2426,540284	11377,77778
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	7095,203791	33268,62222
Emisiones de CO2 (kgCO2)	5505,878142	25816,45084



Obteniendo ahorros del 79% en energía primaria con respecto a la calefacción tradicional eléctrica.

8.4 Caso 3 - Comparativa para abastecimiento de ACS, refrigeración y climatización de piscinas en un hotel

El hotel a estudiar estaría emplazado en San Bartolome de Tirajana, concretamente en la zona turística de Maspalomas, sería un pequeño hotel de cinco estrellas formado por 50 habitaciones dobles de 50 m² cada una y una superficie total construida de 1600 m² entre las habitaciones y los diferentes servicios ofertados además de una piscina de 150 m² de superficie.

Las consideraciones a tener en cuenta a la hora de calcular la demanda de refrigeración aparte de las ya descritas son :

- La fachada principal esta orientada al sur y la trasera al norte que es donde están orientados los dormitorios, siendo los laterales al este y oeste, con una transmitancia térmica de los muros de 0,38 W/m²k.
- La transmitancia térmica de la cubierta es de 0,33 W/m²k
- La transmitancia térmica del suelo es de 0,46 W/m²k
- Cada fachada dispone de un total de 25 balcones con puertas correderas de 2 m de altura por 2,5 metros de longitud, de aluminio color blanco con rotura de puente térmico y con cristales dobles con cámara de aire y un retranqueo de 20 cm cada una, cada balcón dispone de una terraza de metro y medio de longitud que proporciona sombra al piso de la habitación inferior.
- Los puente térmicos serían los de los pilares en esquina, pilares en fachada, los encuentros de fachada con forjados .

Para determinar la demanda de ACS se hace uso de la fórmula :

$$Demanda ACS = V \cdot (T1 - T2) \cdot \frac{C}{3600}$$

La demanda de ACS según el Documento Básico HE del CTE para un hotel de cinco estrellas es de 69 l/día por persona, y suponiendo una ocupación total hacen una demanda diaria de 6900 l/día totales.

La temperatura a la que queremos el agua para su consumo es 60°C, las temperaturas medias a la que esta el agua de la red en los tres emplazamientos son las siguientes:

- Maspalomas = 17,08°C.

Quedando una demanda total de ACS para cada emplazamiento como se aprecia en la siguiente tabla :

	MASPALOMAS
Demanda ACS (kWh/año)	125689,3244

Para el cálculo de la demanda energética en piscinas al aire libre

$$P \text{ (kW)} = [(28 + 20v) (tWS - tBS) SW] / 1000$$

donde:

- tWS = Temperatura del agua (°C) 26°C
- tBS = Temperatura del aire (°C) 23,5°C
- v = Velocidad del viento (m/s) 1,44 m/s
- SW = Superficie de la piscina (m2) 150 m2

Quedando una demanda total de climatización de piscina como se aprecia en la siguiente tabla :

	MASPALOMAS
Demanda Climatización Piscina (kWh/año)	76680

La demanda total de refrigeración calculada con el CE3X sería:

	MASPALOMAS
Demanda Refrigeración (kWh/año)	51040

Para cubrir la demanda de ACS y la climatización de la piscina y la refrigeración de las estancias mediante bombas de calor se ha optado por un sistema centralizado de una bomba de calor geotérmica de sondas verticales Tierra-Agua de la marca Vaillant modelo Geotherm de alta potencia VWS 460/2 tiene una potencia nominal de 44,1 kW una potencia térmica de 242,4 kW y un COP de 4,8 para una temperatura de calentamiento de 60°C.

La directiva europea especifica que las bombas de calor Tierra-Agua para que sean consideradas como energía renovables tienen que tener un SCOPneto mínimo de 3,5 y unas horas equivalentes de funcionamiento a plena carga de 1340, tal y como se muestra en la

Figura 8.1

Entonces para el cálculo de SPF o SCOP mínimo el factor de ponderación (FP) será como se muestra en la **Figura 8.2** de:

- 1,24 para San Bartolomé de Tirajana (Maspalomas)

Y el factor de corrección (FC) como se muestra en la **Figura 8.3** de 1 ya que el COP proporcionado por el fabricante es elevando el agua a una temperatura de 60°C y nosotros queremos elevarla a 60°C.

Quedando:

$$\text{SPF Maspalomas} = \text{COP}_{\text{nominal}} \times \text{FP} \times \text{FC} = 4,8 \times 1,24 \times 1 = 5,952$$

Por lo tanto se supera el SCOPneto mínimo, entonces pueden considerarse la bomba de calor como renovable, y la cantidad total de energía renovable suministrada por las bomba sería:

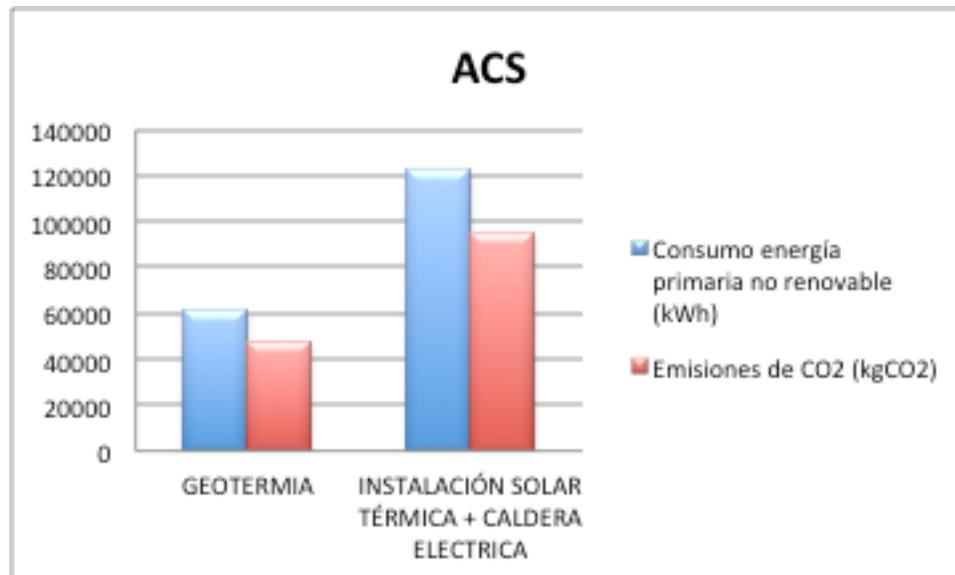
$$Q_{\text{usable}} = 1340 \times 242,4 = 324816 \text{ kWh}$$

$$E_{\text{RES}} \text{ Maspalomas ACS} = 324816 * 1 - 1/5,952 = 270243,41 \text{ kWh}$$

Para el cálculo de energía primaria y el cálculo de las emisiones de CO2 haciendo uso de las Figuras 8.4 y 8.5 obtenemos el valor 2,937 como factor de conversión de Energía primaria no renovable (kWh) y de 0,776 kg CO2 /kWh Energía Final quedando los siguientes resultados:

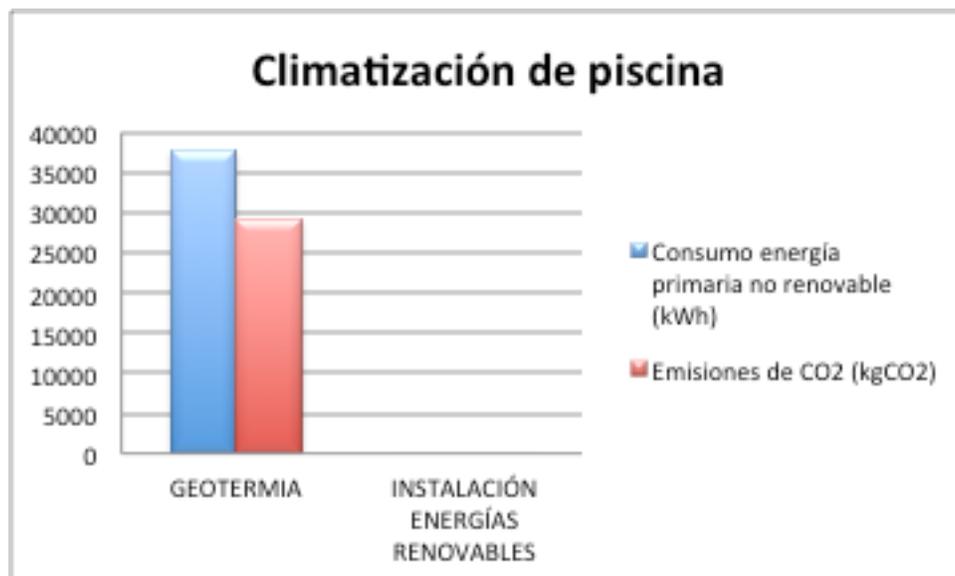
- **Abastecimiento de ACS**, en este caso la normativa exige una contribución solar mínima del 70% por lo que se ha comparado con este sistema acompañado de una caldera eléctrica, obteniéndose ahorros de energía cerca del 50%.

MASPALOMAS		
	GEOTERMIA	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA ELECTRICA
Demanda ACS (kWh/año)	125689,3244	125689,3244
Demanda ACS cubierta por paneles solares		0,7
Eficiencia estacional equipo	5,952	0,9
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	21117,15799	41896,44146
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	61746,56997	122505,1948
Emisiones de CO2 (kgCO2)	47915,33829	95064,03118



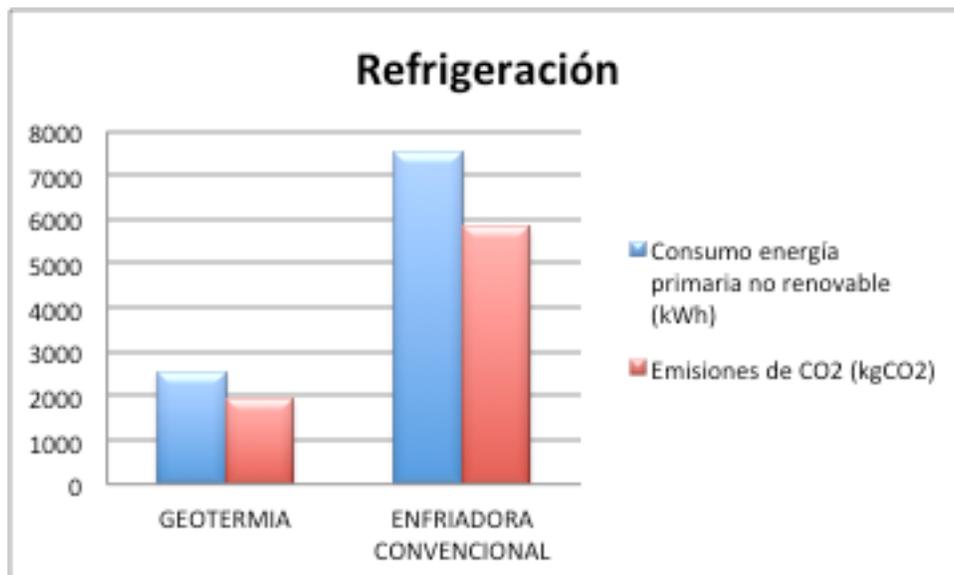
- **Climatización de piscina**, en este caso la normativa exige que la climatización de piscinas al aire libre sea 100% con energías renovables por lo que se ha comparado con placas solares térmicas, obviamente aquí pierde la partida la bomba de calor.

MASPALOMAS		
	GEOTERMIA	INSTALACIÓN ENERGÍAS RENOVABLES
Demanda Climatización Piscina (kWh/año)	76680	76680
Demanda Climatización Piscina cubierta por paneles solares		1
Eficiencia estacional equipo	5,952	-
Fuente de energía	Electricidad	Energías Renovables
Consumo energía final (kWh)	12883,06452	0
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	37670,08065	0
Emisiones de CO2 (kgCO2)	29231,98258	0



- **Refrigeración de estancias**, se ha comparado con una enfriadora convencional con un rendimiento del 200%, obteniéndose ahorros de un 67% en energía

MASPALOMAS		
	GEOTERMIA	ENFRIADORA CONVENCIONAL
Demanda Refrigeración (kWh/año)	5140	5140
Eficiencia estacional equipo	5,952	2
Fuente de energía	Electricidad	Electricidad
Consumo energía final (kWh)	863,5752688	2570
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	2525,094086	7514,68
Emisiones de CO2 (kgCO2)	1959,473011	5831,39168



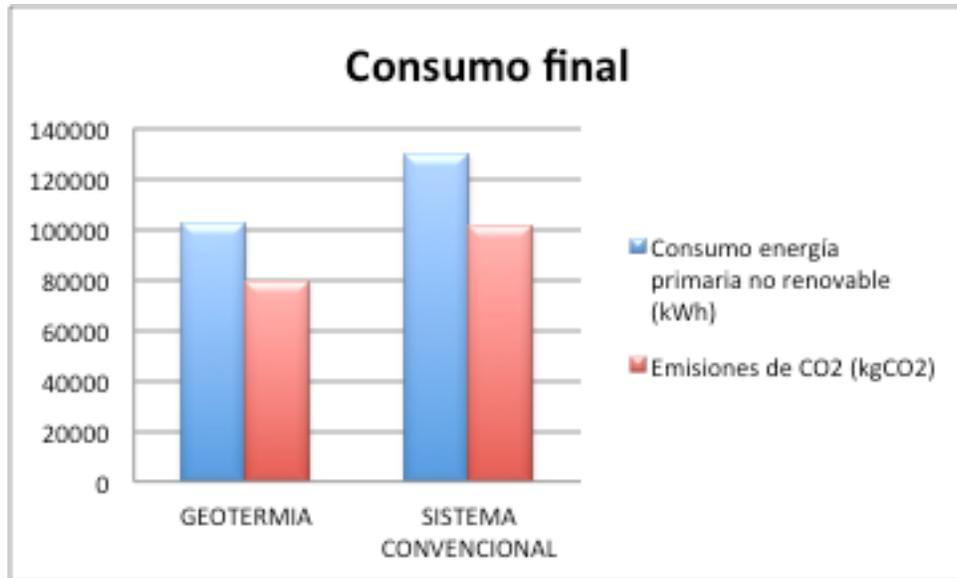
- **Justificación HE4** Se debe justificar que las emisiones de CO2 y el consumo de energía primaria no renovable debido a la instalación de bomba de calor y todos sus equipos auxiliares, que cubren la demanda de ACS deben ser iguales o inferiores a las que se obtendrían mediante la correspondiente instalación solar térmica para ACS y el sistema de referencia

CUMPLIMIENTO HE4 ACS+CLIMATIZACIÓN DE PISCINAS		
	GEOTERMIA	INSTALACIÓN SOLAR TÉRMICA + CALDERA ELECTRICA
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	99416,65061	122505,1948
Emisiones de CO2 (kgCO2)	77147,32088	95064,03118

Sí se puede instalar esta bomba de calor para producción ACS en sustitución de los paneles solares térmicos exigidos por el CTE-HE4.

- **Consumo final**

CONSUMO FINAL		
	GEOTERMIA	SISTEMA CONVENCIONAL
Consumo energía primaria no renovable (kWh)	101941,7447	130019,8748
Emisiones de CO2 (kgCO2)	79106,79389	100895,4229



El consumo final de las instalaciones térmicas se ve reducido un 22%, podría ser superior si se hubiese comparado la climatización de piscinas con un sistema convencional, pero como se trata de edificios de nueva construcción, la normativa especifica que tienen que ser climatizadas con energía 100% renovable.

CAPÍTULO 9 CONCLUSIONES

Después de consultar cerca de 40 artículos científicos sobre los edificios de consumo casi nulo, las bombas de calor y su multitud de aplicaciones, donde se discuten las implicaciones del desarrollo sostenible, la metodología aplicable y habiendo hecho un pequeño estudio comparativo de su aplicación en Canarias, sabiendo que tenemos una dependencia energética superior al 90% de los combustibles fósiles debido a múltiples factores tales como, ser cada isla un sistema eléctrico independiente por la imposibilidad de interconectarnos eléctricamente debido a las grandes profundidades existentes salvo el caso Fuerteventura-Lanzarote, escasa inversión en energías renovables a pesar de tener un gran potencial en ello, hay que buscar soluciones para minimizar esa dependencia energética y por ello las conclusiones que se pueden extraer de este TFM son las siguientes:

- Hay un creciente interés en el potencial de las bombas de calor para ayudar a aliviar los problemas relacionados con el agotamiento de los recursos energéticos y el deterioro del medio ambiente. En términos generales, las bombas de calor implican una clara estrategia: La de minimizar el uso de energía en los edificios con ahorros entorno a un 70% en la producción de ACS y de un 80% de energía en instalaciones de climatización, con su consiguiente influencia en la reducción de emisiones de CO₂.
- Todo ello combinado a otras medidas de eficiencia energética en el diseño del edificio, donde se tengan en cuenta medidas tales como: la orientación del edificio, dispositivos de protección solar, una correcta ventilación, más la posibilidad de implantación de sistemas híbridos bombas de calor/ fotovoltaica – eólica debido al gran recurso fotovoltaico-eólico disponible en Canarias, hace bastante viable la construcción de edificios de consumo casi nulo en Canarias.
- Canarias vive del turismo, con la implantación de estas tecnologías vamos poco a poco camino de la sostenibilidad, esto puede contribuir positivamente a ser un destino turístico mas atractivo.

CAPÍTULO 10 LINEAS FUTURAS

Una vez completado este trabajo y detalladas sus conclusiones, se han encontrado varios retos para futuras líneas de investigación:

Un estudio mas profundo sobre el uso de las bombas de calor a nivel regional, en combinación con sistema de energía híbridos en donde se pudieran combinar para saber el posible alcance de ahorro energético que podrían proporcionar, no solo en edificios de nueva construcción, sino en edificios ya existentes, edificios industriales etc, así como un estudio de viabilidad económica.

CAPÍTULO 11 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Parmesan, C. (2006). Ecological and Evolutionary Responses to Recent Climate Change. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 37(1), pp.637-669.
- [2] Inman, M. (2009). The climate change game. *Nature Reports Climate Change*, (0911), pp.130-133.
- [3] Wwf.es. (2016). *Causas*. [online] Available at: http://www.wwf.es/que_hacemos/cambio_climatico/causas/ [Accessed 2 Nov. 2016].
- [4] Cambioclimate.org. (2016). *Protocolo de Kioto | Cambio Climático .org*. [online] Available at: <http://www.cambioclimate.org/tema/protocolo-de-kyoto> [Accessed 2 Nov. 2016].
- [5] Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo del 19 de Mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios
- [6] Decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013 por la que se establecen las directrices para el cálculo por los estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías, conforme a lo dispuesto en el artículo 5 de la directiva 2009/28/ce del parlamento europeo y del consejo
- [7] García Montes, J., Miguez Gómez, C., Monedero Gómez, F. and Rico Arroyo, I. (2016). Síntesis del Estudio Parque de bombas de calor en España. 1st ed. [ebook] IDAE. Available at: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Bombas-de-calor_FINAL_04ee7f42.pdf [Accessed 3 Nov. 2016].
- [8] Rey Martínez, F., Velasco, G. and Pérez Cano, I. (2005). Bombas de calor y energías renovables en edificios. Madrid: Thomson.
- [9] Klingenberg K. Passive house concept, history and economic opportunities for the us building sector. *The Passive House Institute US (PHIUS)*.2008.

- [10] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Cooling Your Home with Fans and Ventilation. DOE/GO-102001-1278; *Energy Efficiency and Renewable Energy*; 2001.
- [11] Azari, R. (2014). Integrated energy and environmental life cycle assessment of office building envelopes. *Energy and Buildings*, 82, pp.156-162.
- [12] Paleari, M., Lavagna, M. and Campioli, A. (2016). The assessment of the relevance of building components and life phases for the environmental profile of nearly zero-energy buildings: life cycle assessment of a multifamily building in Italy. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21(12), pp.1667-1690.
- [13] Woolley, T. (2013). Low impact building: Housing using renewable materials. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-4443-3660-3.
- [14] Kalogirou SA. (1999) Performance enhancement of an integrated collector storage hot water system. *Renew Energy*; 16:652-5.
- [15] Kylili, A. and Fokaides, P. (2015). European smart cities: The role of zero energy buildings. *Sustainable Cities and Society*, 15, pp.86-95.
- [16] Marszal, A., Heiselberg, P., Bourrelle, J., Musall, E., Voss, K., Sartori, I. and Napolitano, A. (2011). Zero Energy Building – A review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43(4), pp.971-979.
- [17] Shaikh, P., Nor, N., Nallagownden, P., Elamvazuthi, I. and Ibrahim, T. (2014). A review on optimized control systems for building energy and comfort management of smart sustainable buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, pp.409-429.
- [18] Fanney, A., Payne, V., Ullah, T., Ng, L., Boyd, M., Omar, F., Davis, M., Skye, H., Dougherty, B., Polidoro, B., Healy, W., Kneifel, J. and Pettit, B. (2015). Net-zero and beyond! Design and performance of NIST's net-zero energy residential test facility. *Energy and Buildings*, 101, pp.95-109.

- [19] Gallo, A., Molina, B., Prodanovic, M., Aguilar, J. and Romero, M. (2014). Analysis of Net Zero-energy Building in Spain. Integration of PV, Solar Domestic Hot Water and Air-conditioning Systems. *Energy Procedia*, 48, pp.828-836.
- [20] Desideri, U., Arcioni, L., Leonardi, D., Cesaretti, L., Perugini, P., Agabiti, E. and Evangelisti, N. (2013). Design of a multipurpose “zero energy consumption” building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions. *Energy*, 58, pp.157-167.
- [21] Dar, U., Sartori, I., Georges, L. and Novakovic, V. (2014). Advanced control of heat pumps for improved flexibility of Net-ZEB towards the grid. *Energy and Buildings*, 69, pp.74-84.
- [22] Kazmi, H., D’Oca, S., Delmastro, C., Lodeweyckx, S. and Corgnati, S. (2016). Generalizable occupant-driven optimization model for domestic hot water production in NZEB. *Applied Energy*, 175, pp.1-15.
- [23] Bourrelle, J. (2014). Zero energy buildings and the rebound effect: A solution to the paradox of energy efficiency?. *Energy and Buildings*, 84, pp.633-640.
- [24] Lu, Y., Wang, S. and Shan, K. (2015). Design optimization and optimal control of grid-connected and standalone nearly/net zero energy buildings. *Applied Energy*, 155, pp.463-477.
- [25] Thygesen, R. and Karlsson, B. (2013). Economic and energy analysis of three solar assisted heat pump systems in near zero energy buildings. *Energy and Buildings*, 66, pp.77-87.
- [26] Franco, A. and Fantozzi, F. (2016). Experimental analysis of a self consumption strategy for residential building: The integration of PV system and geothermal heat pump. *Renewable Energy*, 86, pp.1075-1085.
- [27] Moldovan, M., Visa, I., Neagoe, M. and Burduhos, B. (2014). Solar Heating & Cooling Energy Mixes to Transform Low Energy Buildings in Nearly Zero Energy Buildings. *Energy Procedia*, 48, pp.924-937.
- [28] Salpakari, J. and Lund, P. (2016). Optimal and rule-based control strategies for energy flexibility in buildings with PV. *Applied Energy*, 161, pp.425-436.

- [29] Ascione, F., D'Agostino, D., Marino, C. and Minichiello, F. (2016). Earth-to-air heat exchanger for NZEB in Mediterranean climate. *Renewable Energy*, 99, pp.553-563.
- [30] Kapsalaki, M., Leal, V. and Santamouris, M. (2012). A methodology for economic efficient design of Net Zero Energy Buildings. *Energy and Buildings*, 55, pp.765-778.
- [31] Safa, A., Fung, A. and Kumar, R. (2015). Comparative thermal performances of a ground source heat pump and a variable capacity air source heat pump systems for sustainable houses. *Applied Thermal Engineering*, 81, pp.279-287.
- [32] Pauli, P., Neuberger, P. and Adamovský, R. (2016). Monitoring and Analysing Changes in Temperature and Energy in the Ground with Installed Horizontal Ground Heat Exchangers. *Energies*, 9(8), p.555.
- [33] Bornatico R, Pfeiffer M, Witzig A, Guzzella L. Optimal sizing of a solar thermal building installation using particle swarm optimization. *Energy* 2012; 41:31-7.
- [34] Chua KJ, Chou SK, Yang WM. Advances in heat pump systems: a review. *Appl Energy* 2010; 87:3611-24.
- [35] Kjellsson, E., Hellström, G. and Perers, B. (2010). Optimization of systems with the combination of ground-source heat pump and solar collectors in dwellings. *Energy*, 35(6), pp.2667-2673.
- [36] Hu, H., Eikevik, T., Neksa, P., Hafner, A., Ding, G., Huang, Q. and Ye, J. (2016). Performance analysis of an R744 ground source heat pump system with air-cooled and water-cooled gas coolers. *International Journal of Refrigeration*, 63, pp.72-86.
- [37] RoonprasangN, Namprakai P, PratinthongN. Experimental studies of a newsolar water heater system using a solar water pump. *Energy* 2008; 33:639-46.
- [38] Li, D., Yang, L. and Lam, J. (2013). Zero energy buildings and sustainable development implications – A review. *Energy*, 54, pp.1-10.

- [39] Wu, R. (2009). Energy Efficiency Technologies – Air Source Heat Pump vs. Ground Source Heat Pump. *JSD*, 2(2).
- [40] Katsaprakakis, D. (2015). Comparison of swimming pools alternative passive and active heating systems based on renewable energy sources in Southern Europe. *Energy*, 81, pp.738-753.
- [41] Lam, J. and Chan, W. (2001). Life cycle energy cost analysis of heat pump application for hotel swimming pools. *Energy Conversion and Management*, 42(11), pp.1299-1306.
- [42] Dumont, O., Quoilin, S. and Lemort, V. (2015). Experimental investigation of a reversible heat pump/organic Rankine cycle unit designed to be coupled with a passive house to get a Net Zero Energy Building. *International Journal of Refrigeration*, 54, pp.190-203.
- [43] Sánchez Guzmán, J., Sanz López, L., Ocaña Robles, L., (2011). Evaluación del potencial de energía geotérmica. 1st ed. [ebook] IDAE. Available at: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e9_geotermia_A_db72b0ac.pdf [Accessed 14 Nov. 2016].
- [44] Medina Wanburg, B., (2012). Estudio de la energía geotérmica en Canarias. 1st ed. [ebook] PROEXCA. Available at: <http://www.proexca.es/Portals/0/Documents/InvertirCanarias/ER/Estudio-Geotermica-Canarias---Beatriz-Medina.pdf> [Accessed 14 Nov. 2016].
- [45] Santamarta, J., Exposito, M. and Casañas, E. (2014). Posibilidades de la Energía Geotérmica de Baja Entalpía en Islas Canarias. *Ingeopres*, 237.
- [46] https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Canarias#Clima
- [47] http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcomarca=1&idcon=531&idcap=92&idcat=22
- [48] Código Técnico de la Edificación – Documento Básico HE (Ahorro de Energía)
- [49] Guía de Eficiencia Energética para instalaciones hoteleras en Canarias. (2014). 1st ed.

[50] <https://es.wikipedia.org/wiki/Canarias#Turismo>

[51] http://www.turismodecanarias.com/promoturturismocanarias/wp-content/uploads/2016/06/Promotur_plazas_establecimientos_2015_ISTAC.pdf

[52] Casañas Rodríguez, E. (2012). Estudio de Viabilidad para Implantar un Sistema de Energía Geotérmica en un Hotel Existente. *Ingeniería del mantenimiento en Canarias*, 6, pp.41-50.

[53] Perlova, E., Platonova, M., Gorshkov, A. and Rakova, X. (2015). Concept Project of Zero Energy Building. *Procedia Engineering*, 100, pp.1505-1514.

[54] Ionescu, C., Baracu, T., Vlad, G., Necula, H. and Badea, A. (2015). The historical evolution of the energy efficient buildings. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, pp.243-253.

[55] http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_5654_ST_Pliego_de_Condiciones_Tecnicas_Baja_Temperatura_09_082ee24a.pdf

[56] <http://www.afec.es/es/guia/prestaciones-medias-estacionales-bombas-de-calor.pdf>

[57] http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/Otros%20documentos/Factores_emision_CO2.pdf

[58] http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar/atlas_de_radiacion_24042012.pdf