
Proyecto Fin de Carrera

Memoria



Universidad
Zaragoza



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

*Estudio Técnico y Económico de Alternativas
en el uso de la Energía Geotérmica y Solar
Térmica de Baja Temperatura como
Climatización y A.C.S en una vivienda*

Especialidad:

Ingeniería Técnica Mecánica

Fecha:

Junio de 2013

Autor:

Víctor Garralaga Marquesan

Director del Proyecto:

Eva Llera Sastresa

Acrónimos:

- **CTE:** Código Técnico de la Edificación
- **R.I.T.E.:** Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
- **IDAE:** Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
- **A.C.S.:** Agua Caliente Sanitaria
- **DBHE:** Documento Básico ahorro de energía
- **IGSHPA:** International Ground Source Heat Pump Association
- **IT:** instrucción técnica
- **UNE:** Una Norma Española

ÍNDICE

1. Objetivos del Proyecto y Localización	8
1.1 Objetivo del Proyecto.....	8
1.2 Localización del proyecto	9
2. Normativa Aplicable	10
3. Características del Edificio	11
3.1 Descripción Física del Edificio	11
3.2 Descripción Energética del Edificio.....	11
3.3 Régimen de Uso	13
3.4 Cuadro de superficies de la vivienda.....	13
3.5 Zonificación climática.....	14
4. Métodos de Cálculo utilizados	19
4.1 Demandas energéticas para Calefacción y Refrigeración	19
4.1.1 Cargas térmicas y demanda energética de calefacción	19
4.1.2 Cargas térmicas y demanda energética de refrigeración	20
4.2 Instalación Geotérmica.....	20
4.3 Instalación de A.C.S.....	20
4.4 Instalación Solar Térmica	21
4.5 Acondicionamiento del circuito interior	21
4.6 Redes de Tuberías	21
4.6.1 Red de Tuberías del Sistema Geotérmico	21
4.6.2 Red de Tuberías del Sistema Solar Térmico y A.C.S.	21
4.7 Vasos de Expansión	21
5. Consideraciones de Cálculo	22
5.1 Cálculo de Cargas Térmicas y de Refrigeración	22
5.2 Preparación de A.C.S	23
5.3 Instalación solar de baja temperatura	25
5.4 Instalación de captación geotérmica	25
5.5 Instalación del circuito interior	25
6. Necesidades Energéticas de la Vivienda	27
6.1 Necesidades energéticas para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S).....	27
6.2 Cargas térmicas y necesidades energéticas anuales para calefacción	27
6.3 Cargas térmicas y necesidades energéticas anuales para refrigeración	27
7. Instalación de Energía Geotérmica.....	28
7.1 Introducción a la Geotermia.....	28

7.2 Características térmicas del terreno.....	30
7.3 Principio de funcionamiento de una instalación con Bomba de Calor Geotérmica	32
7.4 Explicación de los Sistemas Primarios para Geotermia	35
7.5 Pre dimensionamiento de la Instalación Geotérmica	36
7.5.1 Selección de la Bomba de calor Geotérmica.....	36
7.5.2 Selección del Sistema Primario Geotérmico	37
7.5.3 Sonda Geotérmica Vertical.....	37
7.5.4 Fluido de trabajo	39
7.5.5 Circuito hidráulico	39
7.5.5.1 Tuberías.....	39
7.5.5.2 Válvulas y accesorios utilizadas en el Circuito Primario Geotérmico.....	40
7.5.5.3 Selección del depósito para el almacenaje de A.C.S.	41
7.5.5.4 Caudal circulante por el Circuito Primario	41
7.5.5.5 Pérdidas de Carga en el Circuito Primario.....	41
7.5.5.6 Selección de la Bomba de Circulación	41
7.5.5.7 Selección del vaso de expansión	42
7.5.5.8 Sistema de llenado, vaciado y purga	42
8. Instalación Energía Solar de Baja Temperatura.....	43
8.1 Introducción a la Energía Solar	43
8.2 Tecnología utilizada en el Proyecto	45
8.3 Principio de funcionamiento de una instalación solar de baja temperatura.....	45
8.4 Tipos de circuitos primarios de la instalación solar	47
8.5 Tipos de sistemas de circulación.....	48
8.6 Pre dimensionamiento de la Instalación Solar	49
8.6.1 Selección del circuito primario.....	50
8.6.2 Selección del sistema de circulación	50
8.6.3 Selección de los Captadores Solares	50
8.6.4 Selección del Fluido Caloportador.....	52
8.6.5 Selección de la Bomba de Calor	52
8.6.6 Circuito Hidráulico.....	53
8.6.6.1 Tuberías.....	53
8.6.6.2 Válvulas y accesorios utilizados en el Circuito Primario Solar	54
8.6.6.3 Caudal circulante por el Circuito Primario	55
8.6.6.4 Pérdidas de Carga del Circuito Primario.....	55
8.6.6.5 Selección de la Bomba de Circulación	55

8.6.6 Selección del vaso de expansión	56
8.6.6.7 Depósito de Inercia	56
8.6.6.8 Sistema de llenado, vaciado y purga	57
9. Instalación de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S)	58
9.1 Introducción a la producción de A.C.S	58
9.2 Prevención de la Legionela	59
9.3 Alternativas en la Producción del A.C.S	59
9.3.1 Alternativa con Captadores Solares	60
9.3.2 Alternativa Geotérmica	60
10. Selección del circuito interior	62
10.1 Sistema de Suelo Radiante / Refrescante	62
Principio de Funcionamiento del suelo Radiante/ Refrescante	62
10.2 Sistema de Fancoils	63
Principio de Funcionamiento de los Fancoil	63
10.3 Ventajas e inconvenientes de ambos Sistemas	64
10.3.1 Sistema de Suelo Radiante/ Refrescante	64
10.3.2 Sistema de Fancoils	64
10.4 Selección del sistema para la climatización	64
10.5 Situación y elección de los Fancoils en la vivienda	65
10.6 Cuadro resumen de las instalaciones descritas	66
11. Análisis comparativo de las alternativas propuestas	67
11.1 Gráficas de consumo energético y costes de consumo	67
11.2 Gráficas de impacto Medioambiental	75
11.3 Inversión y Rentabilidad	77
11.4 Selección del Sistema de Climatización y del Sistema de Preparación de A.C.S.	79
12. Conclusiones y Calificación Energética	80
12.1 Conclusiones Generales	80
12.2 Calificación Energética Obtenida	81
13. Referencias Bibliográficas, Bibliografía y Software utilizado	84

1. Objetivos del Proyecto y Localización

1.1 Objetivo del Proyecto

Desde hace años se lleva hablando del cambio climático y de lo que supone para este el continuo consumo de combustibles fósiles, por lo que se está llevando a cabo un desarrollo en el uso de las tecnologías renovables. Estas se valen de la radiación solar, de los vientos, saltos de agua, biomasa... para producir energía de diferentes tipos.

Normalmente este tipo de tecnologías suelen darse en grandes construcciones como pueden ser parques eólicos, grandes saltos de agua, huertas solares, centrales de biomasa... donde ya se ha demostrado la capacidad de generación eléctrica que poseen. Pero también se pueden aprovechar dichas tecnologías integrándolas en viviendas, donde un alto porcentaje de los consumos residen en la utilización de la energía térmica (climatización, refrigeración, agua caliente sanitaria...) siendo en estos casos más apropiada la utilización de la biomasa, la solar térmica de baja temperatura o la geotérmica.

El principal objetivo del presente proyecto es demostrar la viabilidad que supone la implantación de estas tecnologías renovables en una vivienda y para ello se va a realizar un caso práctico, aplicado a una vivienda, en el que aparecen dos posibles alternativas de instalaciones renovables.

Las dos alternativas que se proponen en este proyecto se valen del uso térmico que se le pueda dar a un fluido caloportador para satisfacer las necesidades de la vivienda y son: la energía solar de baja temperatura y la energía geotérmica. La primera de ellas se vale de la energía térmica que es capaz de almacenar un fluido de trabajo al absorber la radiación procedente del sol mientras que la energía geotérmica se vale de la energía térmica almacenada en el terreno la cual también será absorbida por un fluido de trabajo. Ambas se han escogido porque aprovechan la energía térmica procedente del sol sin necesidad de llevar a cabo combustión alguna, como podría ser el ejemplo del uso de la biomasa.

El anteproyecto está en línea con normativas, tan recientes como el Real Decreto 235/2013 [1], de 5 de abril de este 2013, cuya finalidad es promover la optimización del uso energético en el sector residencial.

Con los datos obtenidos mediante el caso práctico se observarán tanto los ahorros energéticos y como éstos afectan a la viabilidad del proyecto; como la reducción de las emisiones de CO₂ a la atmósfera que van ligadas a dichos ahorros y el papel que juegan estas en la consecución de una calificación energética u otra.

1.2 Localización del proyecto

La vivienda objeto de estudio se sitúa en la localidad turolense de Híjar, dicha localidad se encuentra emplazada en la Comarca del Bajo Martín entre Zaragoza (72 km) y Alcañiz (32 km). Esta población se encuentra a una latitud de $41^{\circ} 10' 32''$ N, una longitud de $0^{\circ} 27' 3''$ O y a una altura de 297 m.

La vivienda forma parte de un bloque de pisos situado en la Calle Otal número 22, dicho bloque de pisos tiene próximo, en su parte derecha, el cauce del Río Martín. La fachada principal se encuentra orientada al Suroeste mientras que la fachada que da al río queda orientada al Noroeste, las otras dos fachadas que dan al interior están orientadas al Noreste y al Sureste como se puede ver en la Figura 1.1:

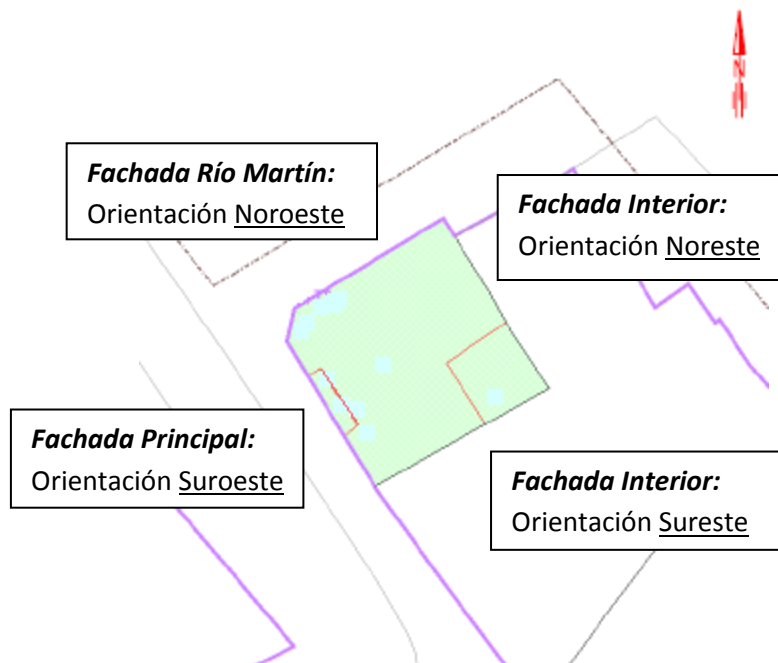


Figura 1.1: Situación de las fachadas de la vivienda motivo de estudio

2. Normativa Aplicable

- *Código Técnico de la Edificación (CTE)*
- *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.)*
- *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura para Instalaciones de Energía Solar Térmica, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*
- *Guía Técnica para el Diseño de Sistemas de Bomba de Calor Geotérmica, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*
- *Guía Técnica para Agua Caliente Sanitaria Central, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*

3. Características del Edificio

3.1 Descripción Física del Edificio

El edificio construido en 1990 se sitúa en un solar de 306,50 m² de forma irregular y sensiblemente llano, ocupando la construcción 233,75 m² de la totalidad del mismo. Dicho terreno se encuentra en el número 22 de la Calle Otal, perteneciente a la localidad turolense de Híjar. Este consta de una altura de 8,55 m desde la planta calle, quedando por debajo de ella una altura de -3 m correspondientes a la planta de garajes. Por lo que la altura máxima del edificio medida desde el punto 0 m (planta de garajes) es de 11,55 m.

El edificio queda constituido por una planta bajo rasante que es la planta de garajes y tres plantas sobre rasante: 1ª planta (planta calle), 2ª planta y 3ª planta donde se encuentran 6 viviendas. La vivienda motivo de estudio se encuentra en la 3ª planta, poseyendo una superficie total construida de 122,78 m² y una superficie útil cerrada de 90 m².

3.2 Descripción Energética del Edificio

En la actualidad la vivienda se vale de la energía eléctrica para satisfacer las necesidades tanto de climatización como de A.C.S.

En lo que respecta a la climatización se vale de dos métodos de conseguir el confort deseado. Para la temporada de invierno la vivienda cuenta con suelo radiante eléctrico el cual entra en funcionamiento entre las 3 ó 4 de la madrugada hasta las 11 ó 12 del mediodía debido a que los usuarios tienen contratada una tarifa eléctrica (cuyas características se pueden observar en la Tabla 3.1) cuyo coste es inferior durante la noche. En la época de verano el confort es conseguido mediante un pequeño aparato de aire acondicionado situado en el salón de la vivienda, entrando en funcionamiento cuando la temperatura de dicha estancia es elevada. Al ser un aparato de aire acondicionado pequeño únicamente es capaz de refrigerar esa habitación, ya que durante este período del año es la más utilizada.

En cuanto a la preparación de A.C.S. la vivienda consta de un termo eléctrico, de 75 litros de capacidad.

El satisfacer todas las necesidades de la vivienda mediante la energía eléctrica supone que la liberación de CO₂ a la atmósfera es elevada. Se ha estimado que la calificación energética que posee actualmente la vivienda es “F” tal y como se puede ver en la Figura 13.1. Como se demostrará con el presente estudio, la calificación energética puede

mejorarse con la incorporación de sistemas basados en energías renovables siendo también objetivo del proyecto decidir cuál de las dos alternativas proporciona una mejora más sustancial.

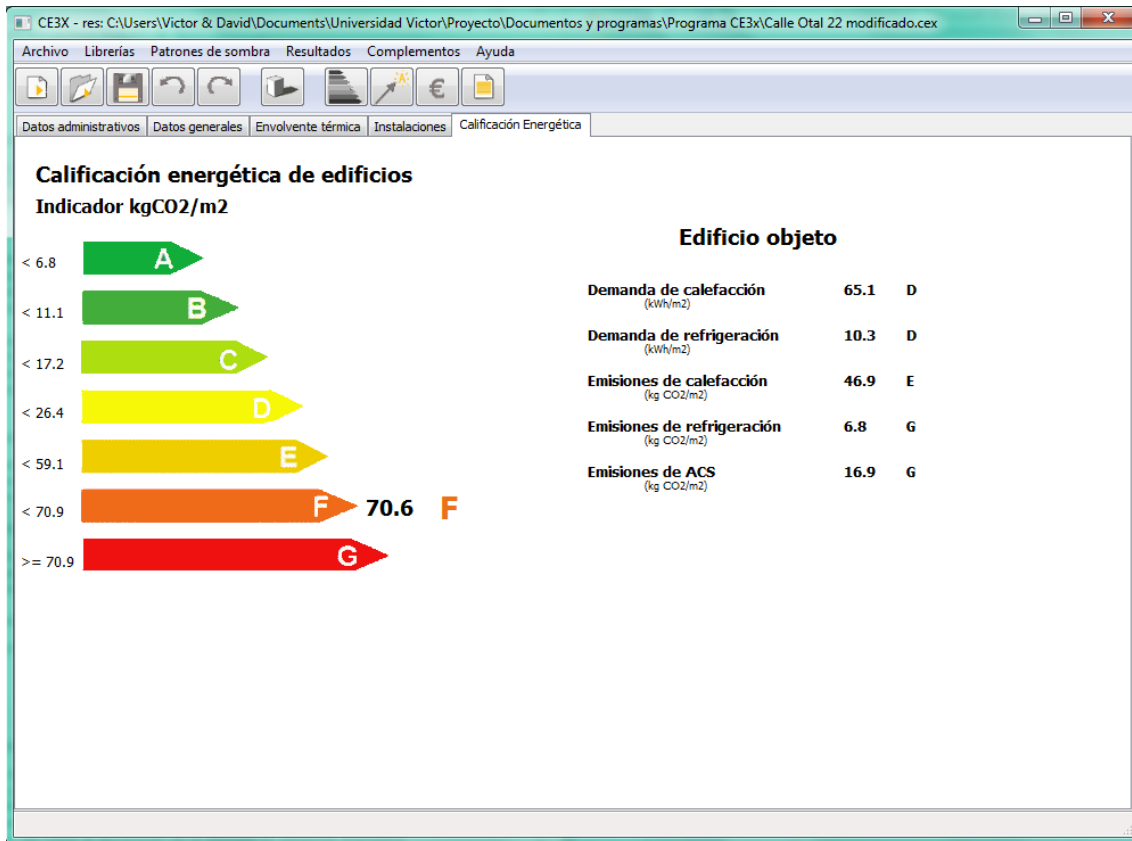


Figura 3.1: Calificación actual de la vivienda motivo de proyecto

	Invierno	Verano	Coste (€/kWh)
Punta	De 12 a 21 horas	De 13 a 23 horas	0,183228
Valle	De 0 a 12 y de 23 a 24 horas	De 0 a 13 y 23 a 24 horas	0,06377

Tabla 3.1: Características de la tarifa eléctrica de la vivienda vigente por orden ITC/2794/2007, de 27 septiembre, BOE núm. 234 de 29/09/2007

Como se puede ver el coste del kWh durante el periodo nocturno el cual coincide con las horas valle es notablemente inferior al coste en horas punta. Por ello los usuarios aprovechan esta situación encendiendo en la época de invierno la calefacción durante la noche. Se debe indicar que a los costes indicados se les debe añadir el IVA del 21% correspondiente.

3.3 Régimen de Uso

El edificio en el que queda enmarcada la vivienda motivo de estudio en el presente proyecto tiene carácter de residencia habitual, por lo que el régimen de uso previsto es continuo, es decir: con refrigeración en la época de verano, calefacción en la época de invierno y con uso de agua caliente sanitaria durante todo el año.

3.4 Cuadro de superficies de la vivienda

La vivienda posee una superficie construida de 122,78 m² y una superficie útil cerrada de 90 m² que queda distribuida de la siguiente manera:

VIVIENDA	
HABITACIÓN	SUPERFICIE (m²)
Pasillo (hall)	4,02
Baño (pasillo)	3,62
Salón-Comedor	21
Balcón Comedor	2,76
Dormitorio 1	10,37
Balcón (dormitorio 1 y 2)	2,87
Dormitorio 2	8,13
Armario Empotrado (dormitorio 2)	0,76
Pasillo	6,34
Dormitorio 3	12,86
Baño (dormitorio 3)	3,5
Dormitorio 4	11,16
Cocina	8,24
Balcón (dormitorio 4 y cocina)	2,53
Sup. Útil Cerrada	90
Sup. Útil Exterior	8,16
Sup. Construida	122,78

Tabla 3.2: Cuadro de superficies de la vivienda

3.5 Zonificación climática

En el Real Decreto 2429/1979 del 6 de Julio de 1979 se aprueba la “*Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios*” [2]. Esta norma es la que se cumple en la construcción del edificio con arreglo a las condiciones térmicas. En lo que a ello respecta y como queda recogido en el “*Artículo nº 5*” del citado documento los valores de transmisión térmica “*K*” de los cerramientos no superarán el máximo valor que aparece en la Tabla 3.3, predefinido por el tipo de cerramiento y la zona climática donde esté ubicado el edificio.

El edificio del proyecto queda situado en la “*Zona X*” como se puede ver (Híjar aparece situado con un punto rojo) en la Figura 3.2, y cumple con los requisitos de aquel entonces en cuanto a la transmisión térmica de los cerramientos se refiere.

Tipo de cerramiento		Zona climática según Mapa 2 (art 13°)			
		V y W	X	Y	Z
Cerramientos exteriores	Cubiertas	1,20 (1,40)	1,03 (1,20)	0,77 (0,90)	0,60 (0,70)
	Fachadas ligeras ($\leq 200 \text{ kg/m}^2$)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)
	Fachadas pesadas ($> 200 \text{ kg/m}^2$)	1,55 (1,80)	1,38 (1,60)	1,20 (1,40)	1,20 (1,40)
	Forjados sobre espacio abierto	0,86 (1,00)	0,77 (0,90)	0,69 (0,80)	0,60 (0,70)
Cerramientos con locales no calefactados	Paredes	1,72 (2,00)	1,55 (1,80)	1,38 (1,60)	1,38 (1,60)
	Suelos o techos		1,20 (1,40)	1,03 (1,20)	1,03 (1,20)
		Valores máximos de K en Kcal/h m²°C (W/m² °C)			

Tabla 3.3: Coeficientes de transmisión térmica K de los cerramientos

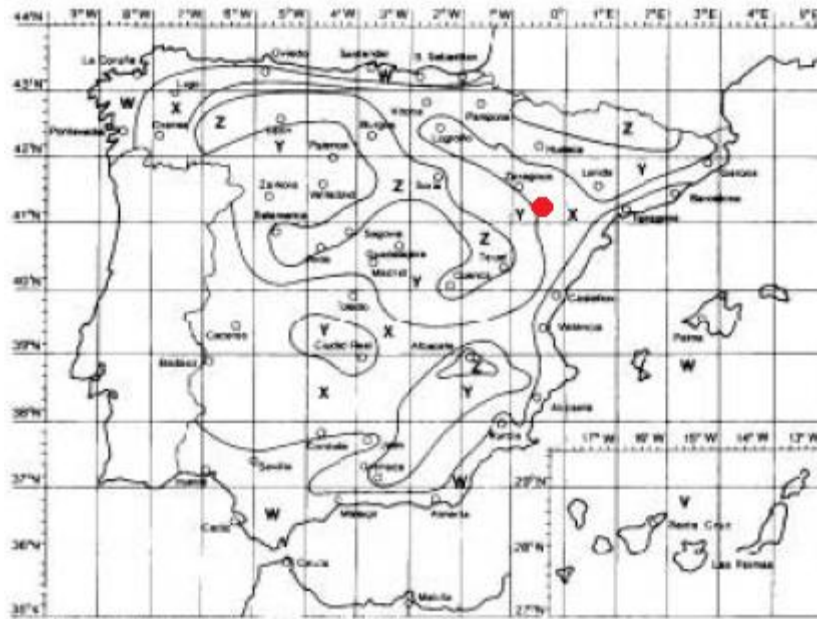


Figura 3.2: Zonificación según Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79 sobre condiciones térmicas en los edificios

Para realizar los cálculos que quedan recogidos en los diferentes anexos referidos al cálculo de la demanda de A.C.S, dimensionamiento del intercambiador de calor enterrado y dimensionamiento del circuito solar de baja temperatura se ha utilizado el **Documento Básico de Ahorro de Energía del RITE de abril de 2009 [3]**. Dicho documento en su apéndice “D” referido a las “Zonas climáticas” y en su “Sección HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente” establece unas zonas climáticas en función de las diferentes capitales de provincia.

En lo que respecta al cálculo del intercambiador enterrado se ha utilizado el apéndice “D” de dicho documento por el que la población de Híjar correspondería con la zona D2 puesto que queda por debajo de la altitud de su capital de provincia, Teruel. Sin embargo para los cálculos mencionados en el anterior párrafo se ha decidido escoger unos datos referidos a la zona D3 y perteneciente a la capital de provincia Zaragoza (Tabla 3.6), debido a que las condiciones climáticas (temperaturas, lluvias, nevadas...) de Híjar se asemejan más a las de esta ciudad.

La diferencia entre dichas zonas reside en el *factor solar modificado límite de lucernarios*, siendo en este caso ligeramente distintos como se puede observar en la Tabla 3.4 y en la Tabla 3.5:

ZONA CLIMÁTICA D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,31$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

Tabla 3.4: Valores límite de las transmitancias de los elementos que conforman la envolvente térmica en la zona climática D2

ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,28$

% de superficie de huecos	Transmitancia límite de huecos ⁽¹⁾ $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N	E/O	S	SE/SO	Carga interna baja			Carga interna alta		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0 (3,5)	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5 (2,9)	2,9 (3,3)	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2 (2,5)	2,6 (2,9)	3,4 (3,5)	3,4 (3,5)	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1 (2,2)	2,5 (2,6)	3,2 (3,4)	3,2 (3,4)	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9 (2,1)	2,3 (2,4)	3,0 (3,1)	3,0 (3,1)	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Tabla 3.5: Valores límite de las transmitancias de los elementos que conforman la envolvente térmica en la zona climática D3

Capital de provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <800	≥800 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 3.6: Zonas climáticas según el apéndice D de la Sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía del RITE de 2009

Para la realización de los cálculos pertenecientes a la instalación solar de baja temperatura, en lo referido tanto para calefacción como para A.C.S, se tiene en cuenta la distribución que se hace del territorio nacional en la Figura 3.3 que se muestra a continuación y que aparece en la “*Sección HE 4: Contribución solar mínima de agua caliente*” situando a la localidad de Híjar, la cual aparece situada mediante un punto rojo, en la **zona IV** como se puede ver:

4. Métodos de Cálculo utilizados

En este apartado se describen brevemente los distintos métodos de cálculo utilizados para llevar a cabo el presente proyecto de una manera satisfactoria.

4.1 Demandas energéticas para Calefacción y Refrigeración

4.1.1 Cargas térmicas y demanda energética de calefacción

El método utilizado para el cálculo de las cargas térmicas y demanda energética de calefacción se basa en la comparación automática e inmediata de los datos introducidos por el usuario en el programa **CE3X** (herramienta promovida por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo para la certificación energética de edificios) con una base de datos que este lleva implementada. Esta base de datos ha sido elaborada gracias al gran número de simulaciones con el programa oficial de calificación energética de viviendas **CALENER VYP**. Con esta base de datos, con la cual trabaja el programa **CE3X** utilizado, se han cubierto todas las posibilidades constructivas que se puedan dar en el territorio español. Las variables que más influencia tienen en la determinación de esta demanda energética, son [4]:

- **Zona climática:** la base de datos recoge experimentos para las 12 zonas climáticas definidas en el Apéndice D sección HE1 del CTE.
- **Tipo de edificio:** diferencia entre experimentos realizados en el sector residencial o en el sector terciario
- **Orientación:** se han tomado las orientaciones recogidas en el apartado CTE-DB-HE1.
- **Compacidad del edificio**
- **Ventilación:** se ha seguido el procedimiento recogido en el apartado “Infiltración y ventilación” del “Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos”.
- **Transmitancia térmica de los cerramientos opacos:** se han calculado según lo recogido en el “Apéndice E” del CTE-DB-HE1.
- **Masa de cerramientos.**
- **Porcentaje de huecos en fachada.**
- **Puentes térmicos.**
- **Transmitancia térmica de los huecos.**
- **Factores solares de los vidrios y elementos de sombreamiento:** se han calculado según lo recogido en el “Apéndice E” del CTE-DB-HE1.

Así pues con la ayuda del programa **CE3X**, basado en el método anteriormente citado, y unas hojas Excel desarrolladas de forma propia, se lleva a cabo el cálculo de las cargas térmicas y demanda energética de calefacción.

4.1.2 Cargas térmicas y demanda energética de refrigeración

El método de cálculo utilizado en este caso para determinar las cargas térmicas y demandas energéticas de refrigeración es el mismo que en el caso anterior, es decir, se basa en la comparación automática e inmediata con la base de datos facilitada por el programa **CALENER VYP**, base de datos con la que trabaja el programa **CE3X** utilizado.

Análogamente para la determinación de las cargas térmicas y demanda energética de refrigeración se utilizan como herramientas el programa **CE3X** y unas hojas Excel de elaboración propia.

4.2 Instalación Geotérmica

El método de cálculo para el dimensionamiento del intercambiador enterrado geotérmico es el utilizado por el Manual del “International Ground Source Heat Pump Association (IGSHPA)”, basado en la teoría de la fuente de calor en forma de línea infinita (Kelvin Line Source Theory) desarrollado por Ingersoll y Plass. Según esta teoría un intercambiador de calor que cede calor al suelo se comporta como una fuente de calor con un espesor pequeño y una longitud infinita, y por tanto sólo cede calor en el sentido radial [5].

Este método viene implementado en el programa “**Geo2 v 1.0**” de la empresa **CIAT** que ha sido utilizado como herramienta para el dimensionamiento del intercambiador enterrado.

4.3 Instalación de A.C.S

El cálculo de agua caliente sanitaria se realiza en función de las necesidades de la vivienda, marcadas por el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios dentro del “*Documento Básico de Ahorro de la Energía, sección H4- Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria*” [3]. Para su cálculo se utiliza la herramienta F- chart desarrollada en una hoja Excel.

4.4 Instalación Solar Térmica

En este caso también ha sido utilizada la herramienta F-chart para dimensionar la superficie de captación. Con ella se estiman los efectos energéticos y económicos del calentamiento solar durante periodos largos (meses, años).

4.5 Acondicionamiento del circuito interior

En este caso se obtiene el número de Fancoils (que como se explica en el *apartado 10* de la presente memoria es la elección escogida para dotar de confort a la vivienda) necesarios para cubrir la demanda solicitada en las distintas zonas de la vivienda en función de la demanda energética necesaria y la potencia calorífica y frigorífica aportada por los aparatos utilizados e implementada en una hoja Excel.

4.6 Redes de Tuberías

4.6.1 Red de Tuberías del Sistema Geotérmico

En el caso del Sistema Geotérmico el cálculo de las pérdidas de la red de tuberías (intercambiador enterrado, colector, válvulas y equipo) es realizado por el programa anteriormente citado “Geo2 v 1.0” de la empresa CIAT.

4.6.2 Red de Tuberías del Sistema Solar Térmico y A.C.S.

En lo que respecta al método de cálculo utilizado para cuantificar las pérdidas en la red de tuberías de la Instalación Solar Térmica (A.C.S. y climatización solar) se ha utilizado una hoja Excel de elaboración propia basada en las fórmulas de Darcy-Weisbach y de Collebroock para el cálculo de pérdidas primarias y pérdidas secundarias.

4.7 Vasos de Expansión

Los vasos de expansión se han dimensionado acorde con los requisitos establecidos por la norma UNE 100.105 y que recomienda el *Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE)* [6] en su instrucción técnica IT 1.3.4.2.4. Para su cálculo se ha utilizado una hoja Excel de elaboración propia basada en dicha norma UNE.

5. Consideraciones de Cálculo

5.1 Cálculo de Cargas Térmicas y de Refrigeración

Para llevar a cabo el cálculo de las cargas térmicas de calefacción y de refrigeración el edificio (envolvente térmica, instalaciones de calefacción, refrigeración...) debe ser definido en el programa *CE3X* introduciendo una serie de datos que solicita, pues bien.

El programa solicita la zona climática en lo referente al *Documento Básico de Ahorro de la Energía*, en sus secciones *HE-1* y *HE-4*. En lo que respecta a la *Sección HE-1* se ha seleccionado la zona climática *D3* (la explicación se da en el *Anexo I*) y en cuanto a la *Sección HE-4* se selecciona la zona climática *IV*, ambas se pueden ver a continuación en la Tabla 5.1 y en la Figura 5.1 respectivamente.

Capital de provincia	Capital	Altura de referencial (m)	Desnivel entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <800	≥800 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Cáceres	C4	385	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palma de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de Gran Canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa Cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Tenue	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D2	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

Tabla 5.1: Zonas climáticas según el apéndice D de la Sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía del RITE de 2009

Mes	Tª Ambiente (°C)	Tª Red (°C)
Enero	6,1	10
Febrero	7,6	11,2
Marzo	11,3	12,4
Abril	13,7	13,6
Mayo	17	14,8
Junio	21,2	16
Julio	23,1	17,2
Agosto	23,7	16
Septiembre	20,6	14,8
Octubre	15,4	13,6
Noviembre	10,2	12,4
Diciembre	6,7	11,2

Tabla 5.2: Temperaturas Ambiente y de Red de la ciudad de Zaragoza

Mes	Radiación Horizontal (kJ/m ² día)	Radiación Inclinación 35° (kJ/m ² día)
Enero	6480	11346
Febrero	11316	17614
Marzo	14632	18564
Abril	17864	18826
Mayo	21804	20510
Junio	23466	20917
Julio	24536	22322
Agosto	22308	22425
Septiembre	15840	18498
Octubre	11664	14215
Noviembre	6552	10625
Diciembre	4894	8491

Tabla 5.3: Radiación Horizontal y con una Inclinación de 35° en la ciudad de Zaragoza

La temperatura de utilización del agua de consumo es de **45°C**, temperatura que será suficiente para dotar a la vivienda de un agua en perfecto estado. Este agua será distribuida desde el interacumulador citado en el **Anexo 5**, al cual llegará con una temperatura superior a los 60°C evitando así la proliferación de la legionela.

5.3 Instalación solar de baja temperatura

En este caso se está ante una instalación similar a la mencionada con anterioridad. Por ello los datos necesarios para realizar los cálculos pertinentes son los mismos, ya que el método de cálculo es igual salvo en la forma de obtener la demanda necesaria. Para hallar esa demanda ya se indican todos los datos necesarios en el **Anexo 3** correspondiente.

5.4 Instalación de captación geotérmica

Las temperaturas de aplicación o también llamadas temperaturas de utilización son aquellas con las que la bomba de calor va a tener que dotar al circuito interno (secundario) de la vivienda para conseguir el confort solicitado por esta.

En este proyecto y como se comentará más adelante (**apartado 10**) la opción elegida, en cuanto a equipos se refiere, para cubrir las necesidades de confort son los Fancoils. Así pues las temperaturas a las que estos trabajan van a ser las siguientes:

- Modo calefacción: **45°C**
- Modo refrigeración: **7°C**

Para el caso de las temperaturas de salida desde la bomba de calor hacia el circuito de captación geotérmica las temperaturas van a ser las siguientes:

- Modo calefacción: **2°C**
- Modo refrigeración: **35°C**

5.5 Instalación del circuito interior

En este caso las temperaturas y humedades que se dan en el interior de la vivienda tienen que situarse dentro del rango que establece el **RITE**.

Estas aparecen en la parte de **Instrucciones Técnicas** en su **IT 1.1 Exigencia de Bienestar e Higiene** y más concretamente en su **IT 1.1.4.1.2 Temperatura operativa y humedad relativa**. Así pues se muestra a continuación la tabla donde aparecen dichas indicaciones:

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Tabla 5.4: Condiciones interiores de diseño dispuestas en el IT 1.1.4.1.2 Temperatura operativa y humedad relativa

Las condiciones que se van a elegir para acondicionar la vivienda son las siguientes:

- **Régimen de verano:**

Temperatura: 23 °C

Humedad Relativa: 50 %

- **Régimen de invierno:**

Temperatura: 23 °C

Humedad Relativa: 50 %

Estas temperaturas se van a conseguir mediante la utilización de fancoils como se expone más adelante (en el *apartado 10* de la memoria) y las temperaturas de trabajo de estos aparatos son las siguientes:

REGÍMENES	BATERIA FRIO	BATERIA CALIENTE
<u>Fluido</u>	Agua	Agua
<u>Temperatura Entrada Fluido</u>	7 °C	45 °C
<u>Temperatura Salida Fluido</u>	12 °C	40 °C
<u>Temperatura Entrada Aire Reciclado</u>	27 °C	21 °C
<u>Humedad Entrada Aire Reciclado</u>	50 %(HR)	50 %(HR)

Tabla 5.5: Temperaturas de consigna para las unidades de Fancoils utilizados

Las temperaturas de entrada y salida del fluido son las referidas a las que circulan por las baterías (2 tubos) de cada fancoil, en cuanto a la temperatura del aire de entrada es el movido por el ventilador que también alberga en su interior dicho aparato.

6. Necesidades Energéticas de la Vivienda

6.1 Necesidades energéticas para la producción de agua caliente sanitaria (A.C.S)

La cantidad de energía necesaria para la producción del agua caliente sanitaria requerida se ha calculado siguiendo el método descrito en el apartado 4.3. El *Anexo 4* recoge con detalle el proceso de cálculo que proporciona como resultado unas necesidades energéticas de $1,833 \cdot 10^3$ kcal/año lo que equivale a **2145,34 kWh/año**.

6.2 Cargas térmicas y necesidades energéticas anuales para calefacción

La cantidad de energía necesaria en el caso de calefacción se ha calculado siguiendo el método descrito en el *punto 4.1.1*. El Anexo 1 recoge con detalle el proceso de cálculo que proporciona como resultado unas necesidades energéticas de:

- **Necesidades energéticas de calefacción: 5859 kWh/año**
- **Carga térmica de calefacción: 5,74 kW**

6.3 Cargas térmicas y necesidades energéticas anuales para refrigeración

La cantidad de energía necesaria en el caso de refrigeración se ha calculado siguiendo el método descrito en el *punto 4.1.2*. El Anexo 1 recoge con detalle el proceso de cálculo que proporciona como resultado unas necesidades energéticas de:

- **Necesidades energéticas de refrigeración: 927 kWh/año**
- **Carga térmica de refrigeración: 5,04 kW**

7. Instalación de Energía Geotérmica

7.1 Introducción a la Geotermia

La Energía geotérmica “es la energía almacenada en forma de calor por debajo de la superficie sólida de la tierra” [7], según la norma alemana VDI 4640 y aceptada por el Consejo Europeo de Energía Geotérmica (EGEC). Dicha energía engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad y procedencia. Esta energía se debe a grandes diferencias de temperatura entre la superficie de la Tierra y las existentes en su interior, lo que origina un flujo continuo de calor hacia la superficie, estimándose que la energía que llega cada segundo a la superficie terrestre, en forma de calor, por conducción, convección y radiación, es de 42×10^{12} J [8].

La Energía Geotérmica puede ser utilizada tanto para producción eléctrica como para usos térmicos (calefacción, ACS, refrigeración, usos industriales...).

Estudios han revelado que la capacidad instalada en todo el mundo entre los años 2005-2010 creció alrededor de 1.650 MW, o lo que es lo mismo un 15,5 %, hasta alcanzar los 10.715 MW en 2010. Estados Unidos, con el 36,5 % de la capacidad, lidera el uso de la geotérmica como fuente para producir energía seguida de Filipinas con el 17,7 %. En lo referido a la contribución de la geotermia al sistema energético europeo supone un 5,4 %, por encima de otras fuentes de energía renovables como la eólica o la solar y sólo superada por la biomasa. Sin embargo, en el caso de España su utilización es escasa con una cuota de penetración del 0,03 %

En la Figura 7.1 podemos apreciar la distribución de la energía de uso térmico procedente de la geotermia en el año 2005 [7].

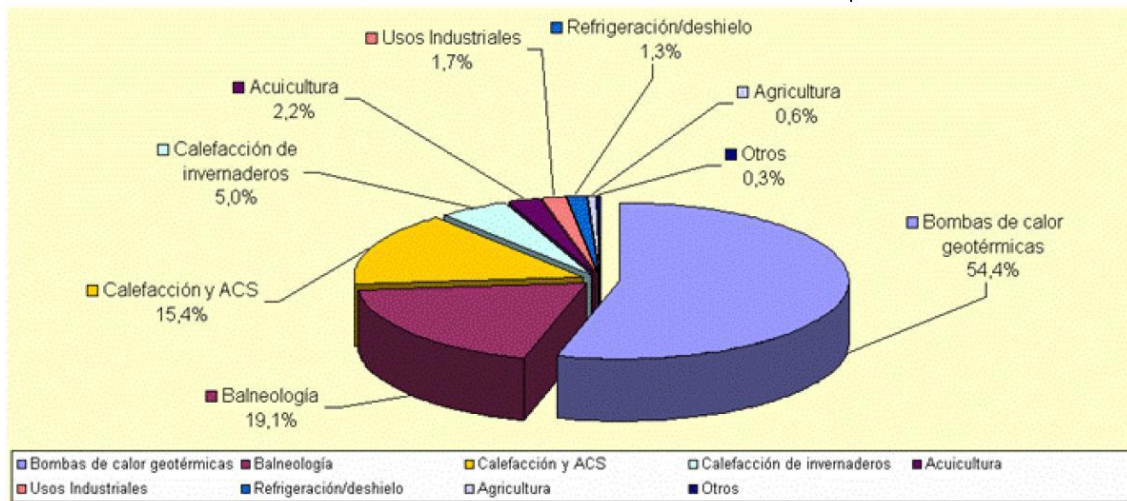


Figura 7.1: Diagrama circular de la utilización de la energía geotérmica

Las aplicaciones de este tipo de energía van ligadas a los usos que se le puedan dar a un fluido geotermal dependiendo de su nivel entálpico. Sin embargo, se utilizan las temperaturas para determinar su futura aplicación, debido a que la entalpía y la temperatura pueden considerarse, más o menos, proporcionales.

Así pues en función de su nivel entálpico pueden distinguirse cuatro categorías:

- Alta entalpía (temperaturas superiores a 150 °C):** Con una temperatura superior a 150 °C se puede obtener, gracias a la transformación del vapor de agua, directamente energía eléctrica.
- Media entalpía (temperaturas entre 90-150 °C):** Con ella también se produce energía eléctrica. Pero en este caso es necesario la utilización de un fluido de intercambio. El rendimiento obtenido es menor, y debe explotarse mediante un fluido volátil.
- Baja entalpía (temperaturas entre 30-90 °C):** Temperatura insuficiente para la producción eléctrica, pero si adecuada para calefacción de edificios, o la utilización en procesos industriales y agrícolas. Además es aprovechable en zonas más amplias que las mencionadas anteriormente.
- Muy baja entalpía (temperaturas inferiores a los 30°C):** Como en el caso anterior la temperatura es insuficiente para la generación de energía eléctrica, por lo que sus usos se dan en calefacción y climatización de viviendas, ACS, agricultura..., o los que reciben también el nombre de aplicaciones directas.

En la Figura 7.2 se pueden ver los principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura:

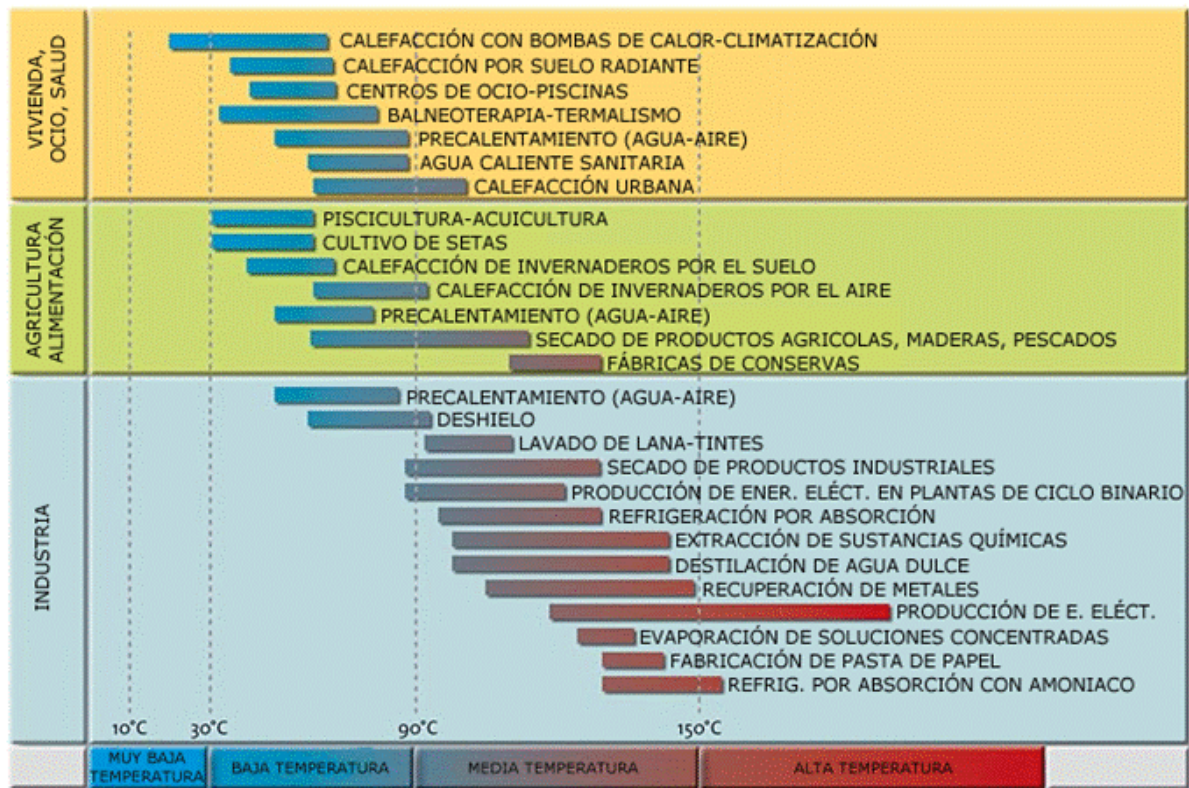


Figura 7.2: Principales usos de la energía geotérmica en función de la temperatura [7]

7.2 Características térmicas del terreno

La energía procedente de la radiación solar, precipitaciones y demás efectos atmosféricos es transferida diariamente a/y desde la superficie de la tierra produciéndose un equilibrio térmico. Esto permite que a pocos metros de profundidad, debido a la capacidad de las capas más próximas a la superficie terrestre (2-3 m) de almacenar la radiación solar, las temperaturas se encuentren entre unos 7 y 13°C dependiendo de las características del suelo (conductividad, difusividad, capacidad térmica...).

Por debajo de los 10 m de profundidad, el suelo es capaz de almacenar ese calor procedente de la radiación solar y mantenerlo incluso estacionalmente, siendo a una profundidad de unos 15 m donde se puede considerar que la temperatura se estabiliza, dando lugar a una temperatura homogénea y que puede superar ligeramente el valor de la temperatura media anual de la superficie. Una vez pasamos el umbral de los 20 m de profundidad la temperatura aumenta a razón de unos 3°C cada 100 m. A partir de esta

última profundidad y suponiendo suelos estables tectónicamente o sedimentarios pueden oscilar en un valor de 15-30 °C/km de gradiente térmico (“variación de temperatura con la profundidad”).

Las características más importantes que influyen a la hora de dimensionar un sistema de captación geotérmico son las siguientes:

- a) **Conductividad térmica:** Se expresa por medio del coeficiente de conductividad del terreno, λ , que determina la cantidad de energía que pasa por unidad de tiempo y por una superficie de 1 m² a una distancia de un metro para crear un aumento de temperatura de 1K. Sus unidades en el S.I son W/m K (J/s m °C).
- b) **Capacidad térmica:** Expresa el calor que es capaz de almacenar un volumen de terreno al incrementarse su temperatura, se mide en MJ/ (K m³).
- c) **Humedad:** La humedad juega un papel muy importante a la hora de realizar el dimensionado del captador, puesto que cuanto mayor humedad posee el terreno mayor será su conductividad.

Por lo anterior se deduce que a la hora de dimensionar una instalación geotérmica es muy importante conocer la tipología del terreno. Normalmente para obtener los datos relacionados con las características nombradas con anterioridad se lleva a cabo lo que se denomina “*Test de Respuesta Térmica*”. En el presente proyecto debido únicamente al estudio técnico y económico que se realiza al tratarse de un anteproyecto, se prescinde de este tipo de obtención de datos. Por ello los datos de conductividad térmica y capacidad térmica quedan establecidos mediante valores estimados a partir de los datos utilizados por el software **Geo2**, de la empresa **CIAT**, referida a los tipos de suelo y que podrán ser vistos en el **Anexo 2**. Los datos introducidos referentes al tipo de suelo son los siguientes:

- **Conductividad térmica:** 2,2 W/(m K)
- **Capacidad térmica:** 2,39 MJ/(K m³)

7.3 Principio de funcionamiento de una instalación con Bomba de Calor Geotérmica

De forma esquemática el principio de funcionamiento de una instalación de estas características es igual al principio de funcionamiento de una instalación de climatización, y consiste en la extracción o cesión en forma de calor entre dos focos. En este caso se precisa de una bomba de calor que se encarga de absorber (en invierno) o ceder (en verano) energía en forma de calor del terreno mediante un intercambiador enterrado de ciclo cerrado y queda compuesto por los siguientes elementos que se pueden ver también en la Figura 7.3:

- Una gran masa térmica como es el suelo que permite ceder (verano)/extraer (invierno) energía en forma de calor.
- Un conjunto de tuberías enterradas por donde circula un fluido caloportador
- Un sistema hidráulico
- Una bomba de calor geotérmica “agua-agua” que permite absorber o ceder calor al circuito secundario y la cual sirve de unión entre el circuito exterior y el circuito interior

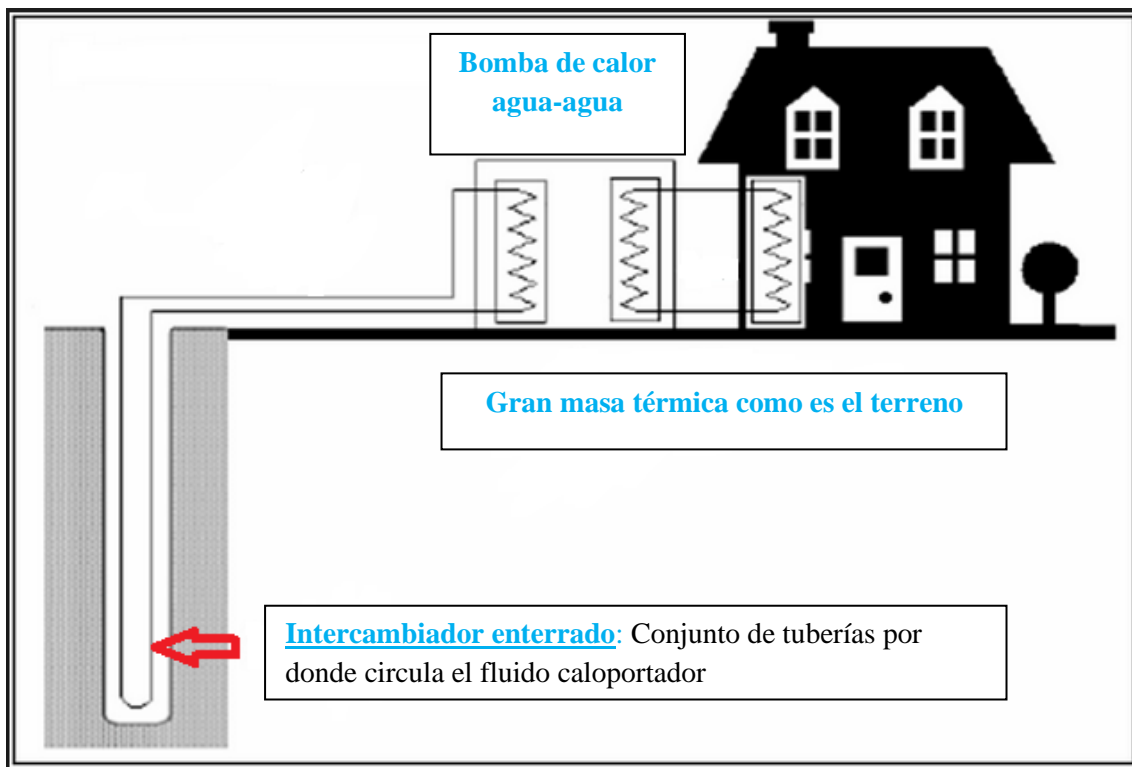


Figura 7.3: Esquema de los elementos que componen una instalación geotérmica para uso doméstico

Una bomba de calor es una máquina térmica que permite transferir energía en forma de calor de un ambiente a otro, según se requiera. Para lograr esta acción es necesario el aporte de trabajo acorde a la segunda ley de la termodinámica, según la cual el calor se dirige de manera espontánea de un foco caliente a otro frío, y no al revés, hasta que sus temperaturas se igualen.

Este fenómeno de transferencia de energía calorífica se realiza por medio de un sistema de refrigeración por compresión basado en la máquina con ciclo de Carnot. En el foco frío (evaporador), el fluido refrigerante empieza a evaporarse y con ello a absorber calor, puesto que el propio fluido está más frío que dicho foco. A baja temperatura y en estado gaseoso el fluido pasa por un compresor, el cual aumenta su presión y con ello su entalpía y temperatura. Una vez supera esta fase llega al intercambiador de calor (condensador) donde cede calor al foco caliente, ya que este está a menor temperatura que el fluido refrigerante. Debido a esta cesión de calor dicho fluido pasa a estado líquido, y a continuación se ve obligado a pasar por una válvula de expansión lo que deriva en una bajada de presión sustancial y con ello una bajada de la entalpía, de su temperatura y comienza a evaporarse. Este efecto es aprovechado por el evaporador que hay tras la válvula de expansión, donde el fluido absorbe de nuevo calor y pasa otra vez al compresor cerrando así el ciclo.

Para que esta máquina térmica pueda trabajar en ambos sentidos, es decir, calefacción-invierno y refrigeración-verano, debe poseer una válvula inversora o también llamada válvula inversora de cuatro vías. Esta válvula se encuentra a la salida del compresor y mediante la propia presión del líquido se encarga de invertir el flujo del refrigerante.

a) Modo de calefacción:

El captador enterrado, formado por la sonda subterránea, capaz de extraer energía en forma de calor del subsuelo mediante el fluido caloportador cederá dicho calor en el evaporador de la bomba de calor. Una vez absorbido ese calor por el refrigerante, este atravesará el compresor para aumentar su entalpía y consecuentemente su temperatura. A continuación el fluido del circuito secundario absorberá la cesión de calor llevada a cabo en el condensador por el refrigerante, dotando a la vivienda de una temperatura idónea. Una vez ocurre esto, el ciclo se repite de forma continuada.

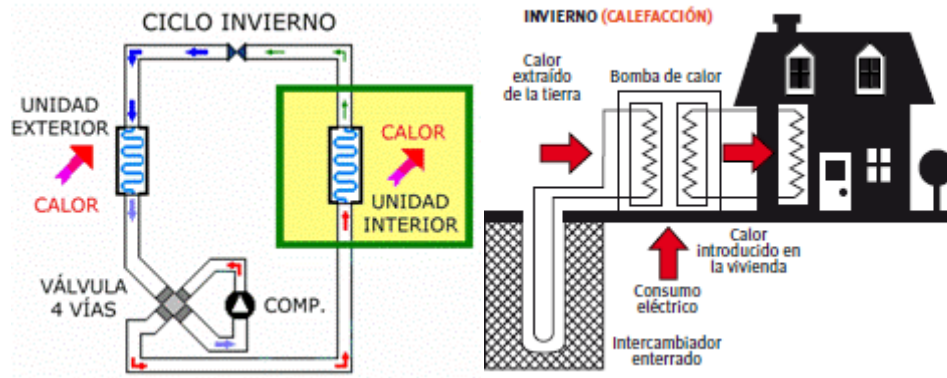


Figura 7.4: Ciclo de calefacción de una bomba de calor geotérmica

b) Modo de refrigeración:

En este caso el circuito secundario que discurre por el interior de la vivienda, se encuentra en contacto con el evaporador. El fluido del circuito secundario cede calor y es absorbido por el refrigerante de la bomba de calor (en el evaporador), que a continuación pasa por el compresor. Allí se produce un aumento de la presión y por tanto de la entalpía y de la temperatura. Tras esto llega al condensador, donde en este caso el refrigerante cede calor al fluido caloportador que fluye por el circuito primario (intercambiador enterrado). Después de esto pasa por la válvula de expansión y se repite el ciclo de manera ininterrumpida.

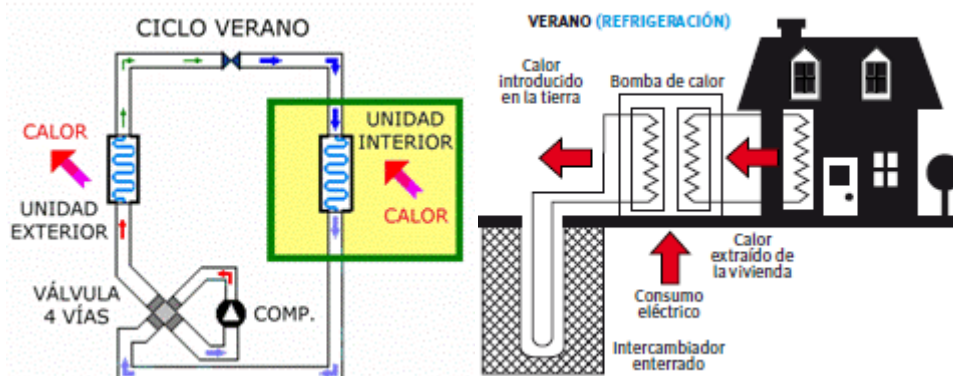


Figura 7.5: Ciclo refrigeración de una bomba de calor geotérmica

7.4 Explicación de los Sistemas Primarios para Geotermia

El sistema primario es aquel, en el caso de estudio circuito cerrado, que se encarga de transportar el calor captado por la sonda geotérmica a la bomba de calor geotérmica. Hay dos opciones entre las cuales elegir y que se describen a continuación:

Colectores horizontales enterrados: Los colectores suelen ser enterrados a unas profundidades cercanas a la superficie, en torno a unos 1,5-2 metros. Debido a ello el clima tiene una gran influencia sobre ellos, además se necesita una parcela de entre 1,5 y 2 veces superior a la superficie que se desee climatizar unicamente para introducir el circuito primario de intercambio.



Figura 7.6: Disposición de colectores horizontales enterrados

Sondas geotérmicas: En este caso el intercambiador es introducido en una perforación cuya profundidad puede superar los 100 m dependiendo de la demanda a cubrir. En contraposición al sistema anterior, unicamente se necesitan unos pocos metros cuadrados para realizar las perforaciones y al introducirlas a una profundidad elevada el clima apenas les afecta, ya que a a unas profundidades superiores a los 15-20 m, como ya se mencionó en el *punto 7.2* la temperatura se estabiliza y alcanza temperaturas en torno a 14-16°C.



Figura 7.7: Disposición de sonda geotérmica vertical

7.5 Pre dimensionamiento de la Instalación Geotérmica

7.5.1 Selección de la Bomba de calor Geotérmica

Para la elección de la bomba de calor geotérmica se debe partir de las necesidades obtenidas en el cálculo de las demandas de calefacción y refrigeración, calculadas con anterioridad y detalladas en el *Anexo 1*. Las distintas demandas obtenidas son:

- Demanda térmica de calefacción: **5,74 kW**
- Demanda térmica de refrigeración: **5,04 kW**

La bomba de calor geotérmica vendrá definida por la demanda térmica más alta que en este caso coincide con la de calefacción como puede verse, debiendo cumplir dicha bomba con una potencia mínima de 5,74 kW. En este proyecto se ha elegido una sola bomba procedente de la empresa *CIAT*, y que pertenece a la gama AGEO+ “agua-agua”. El modelo es *AGEO 20HT*, de tipo “agua-agua” y que proporciona una potencia total de 5,8 kW en régimen de calefacción, 6,09 kW en régimen de refrigeración.

7.5.2 Selección del Sistema Primario Geotérmico

Se ha elegido una **disposición vertical de doble U** debido al reducido espacio que ocupan las perforaciones en oposición a la elevada necesidad de terreno para instalar una configuración horizontal, además la climatología que se da en la localidad de Híjar afectara en menor medida a una instalación de estas características puesto que a unas profundidades en torno a los 15-20 m la temperatura se vuelve más homogénea, no ocurriendo esto a una profundidad de 1,5-2 m que es a la que se llevan a cabo normalmente las configuraciones horizontales.

7.5.3 Sonda Geotérmica Vertical

Mediante el software **Geo2** de la empresa **CIAT** se ha realizado el cálculo de la profundidad de perforación del pozo (donde será introducida una sonda de captación geotérmica) que según lo calculado debe ser de 64 m. Sin embargo la perforación a realizar será de **65 m**, debido a que se contará con un metro de profundidad para situar el pie de sonda y así evitar posibles complicaciones a la hora del rellenado de la perforación. Así pues la sonda quedará formada por un **tubo de polietileno de alta densidad (PE HD) dispuesto en doble U** y longitud de **65 m**. Las especificaciones de dicha sonda quedan reflejadas a continuación:

- **Material del tubo:** PE-HD 100 PN16 SRD11
- **Diámetro nominal:** 32 mm
- **Espesor:** 2,9 mm
- **Longitud:** 65 m
- **Peso:** 92 kg
- **Rugosidad del tubo:** 0,01 mm
- **Densidad:** 0,96 g/cm³
- **Conductividad térmica:** 0,42 W/m K

El modelo escogido es la **“Sonda geotermia vertical ALB GEROtherm 4x32mm HSS 80m” perteneciente a la casa “ALB”**.

Como se ha mencionado en el párrafo previo a las especificaciones técnicas de la sonda utilizada, esta es de doble U. Dicha unión inferior en U es soldada en fábrica mediante proceso certificado según VDI 4640.

La introducción de la sonda geotérmica en la perforación se realizará después de la retirada del varillaje y por gravedad ayudandose de un desenrollador mecánico poniendo atención a la velocidad de descenso. Con esto se conseguirá intriducirla de una manera controlada y con un riesgo de daño menor.

La seguridad de dirigir la sonda por el centro de la perforación y evitando el contacto con las paredes se conseguirá mediante la utilización de varios distanciadores para sonda 4x32, también de la casa “ALB”.



Figura 7.8: Distanciador de la casa “ALB” utilizado para evitar el deterioro de la sonda en su proceso de introducción en la perforación

La sonda dispondrá de un pie de sonda, modelo GEROtherm 32 mm, al que irá adosado un lastre cuyo peso será de 12,5 kg (ambos accesorios pertenecen a la empresa “ALB”), algo que ayudará a que no se vea aplastada debido al aumento de presión en el proceso de relleno de la perforación ya que el material utilizado es de mayor densidad.



Figura 7.9: Pie de sonda al cual va adosado un lastre de 12,5 kg utilizado para el proceso de introducción de la sonda en la perforación

Las sondas se introducirán ya rellenas de agua con el objetivo de evitar colapsos y serán sometidas a una prueba de purgado y a una de estanqueidad. El caudal (Q) de purgado será de 1,2 m³/h, y se considerará correcta cuando el agua de salida sea transparente. Para el caso de la prueba de estanqueidad la duración será de 1 hora.

7.5.4 Fluido de trabajo

El fluido de trabajo o también llamado fluido caloportador es el responsable de absorber o ceder energía en forma de calor dependiendo del modo en el que este trabajando la bomba de calor, bien sea en modo calefacción o en refrigeración respectivamente.

Las propiedades que deberá reunir serán las siguientes: buena conductividad térmica; punto de congelación inferior a 0°C ya que en la zona donde se realiza el proyecto se dan temperaturas inferiores a esta; que no sea corrosivo, tóxico o inflamable; tenga un coste apropiado; tenga una durabilidad alta.

Por ello el fluido será una mezcla de agua con anticongelante cumpliendo lo descrito con anterioridad. El fluido de trabajo quedará formado por una *mezcla de agua glicolada con el 25% de etilenglicol en peso*.

Las características del fluido caloportador seleccionado son las siguientes [9]:

- **Composición:** Agua 75% + Etilenglicol 25% (peso)
- **Temperatura de congelación:** -10,9 °C
- **Temperatura de ebullición:** 102 °C
- **Densidad (20°C):** 1030 kg/m³
- **Calor específico (20°C):** 3760 J/ Kg K
- **Conductividad térmica (20°C):** 0,499 W/m K
- **Viscosidad (20°C):** 0,001334 Kg/m s

Las características del fluido son aquellas con las que trabaja el programa **Geo2** de la empresa **CIAT** y que se indican en el **Anexo 2**.

7.5.5 Circuito hidráulico

7.5.5.1 Tuberías

Las tuberías de la sonda geotérmica ya han quedado definidas en el **apartado 7.6**.

La unión entre la sonda geotérmica y el colector se realizará mediante una unión en “Y”, siendo esta soldada por termofusión HS. Esta es una pieza de unión doble de las sondas geotérmicas al colector, que se transforma a unión de diámetro inmediatamente superior, es decir, posee dos entradas para las sondas de 32 mm de diámetro y una sola salida de 40 mm de diámetro para el colector.



Figura 7.10: Unión en “Y” utilizada para conectar la sonda geotérmica con el colector

En el caso del colector el material utilizado también va a ser polietileno de alta densidad cuyas características quedan citadas a continuación:

- **Material:** PE-HD 40 PN6
- **Diámetro nominal:** 40 mm
- **Espesor:** 3,95 mm
- **Conductividad térmica:** 0,42 W/m K
- **Rugosidad del tubo:** 0,01mm

La unión entre el colector y las conexiones de la bomba de calor viene determinado por un diámetro de conexión de 1” GM, los tubos utilizados para llevar a cabo esta unión serán también de polietileno de alta densidad como en los casos anteriores.

7.5.5.2 Válvulas y accesorios utilizadas en el Circuito Primario Geotérmico

Como ya es sabido un circuito hidráulico requiere la utilización de diversas válvulas para garantizar el buen funcionamiento y por lo tanto un trabajo óptimo de la instalación. Una vez dicho esto pasamos a enumerar las distintas válvulas y accesorios requeridos por la instalación:

- Dos válvulas de corte: válvulas de esfera
- Una válvula de equilibrado: válvula de esfera
- Válvulas de purga de aire: válvulas de esfera
- Válvula de seguridad: válvula de resorte
- Dos válvulas de carga y descarga: válvulas de esfera
- Dos reducciones entre la sonda geotérmica enterrada y el colector (Y’s)
- Manómetros
- Termómetros
- Vaso de expansión

7.5.5.3 Selección del depósito para el almacenaje de A.C.S.

La instalación geotérmica comprende tanto el hecho de cubrir la demanda de calefacción y refrigeración como cubrir la necesidad de agua caliente sanitaria, por lo que se debe seleccionar un depósito para almacenar dicho agua. Por ello se ha elegido uno de la casa **Buderus**, siendo el modelo seleccionado el **Logalux ER 160 l** que será suficiente para satisfacer las necesidades de A.C.S. demandadas por la vivienda. Dicho elemento se conectará a la bomba de calor mediante una válvula de tres vías que permitiera el paso hacia este o no dependiendo de lo que se deba cubrir en un momento determinado.

7.5.5.4 Caudal circulante por el Circuito Primario

El caudal que circulará por el circuito primario geotérmico, formado por la sonda y el colector, se obtiene gracias al uso del programa **Geo2** siendo pues determinado acorde con las especificaciones de la bomba de calor elegida. Así pues el caudal "**Q**" obtenido en dicho circuito es de **1,68 m³/h.**

7.5.5.5 Pérdidas de Carga en el Circuito Primario

El cálculo de pérdidas de carga del circuito primario geotérmico se ha realizado mediante el programa **Geo2**. Para llevar a cabo el cálculo de estas dicho programa tiene en cuenta las pérdidas primarias producidas en los distintos tubos del colector y el intercambiador, las pérdidas secundarias debidas a los diversos accesorios utilizados (codos, válvulas, U's, reducciones) y las pérdidas que se dan en la bomba de calor elegida. La suma de todas ellas da lugar a una pérdida de carga total de **4,05 m.c.a.**

En el **Anexo 2** se pueden ver los datos introducidos en el programa que dan lugar a esta pérdida de carga.

7.5.5.6 Selección de la Bomba de Circulación

La bomba de circulación es la encargada de suministrar la energía necesaria al fluido caloportador para que este fluya a través del intercambiador geotérmico y del colector de una manera adecuada. Para su selección se debe utilizar los parámetros antes determinados:

- Caudal (Q) que circula por el circuito primario puesto que es la cantidad de fluido que debe impulsar la bomba.
- Pérdidas de Carga producidas en los tubos, accesorios y equipos debido a que es aquello que debe contrarrestar

Así pues el caudal de circulación impulsado debe de ser de **1,68 m³/h** y debe salvar unas pérdidas de carga de **4,05 m.c.a.**. Por ello el modelo de bomba seleccionado ha sido el **SAM 25/125-0,08/K** de la marca **Sedical**, la cual nos permite impulsar dicho caudal y vencer las pérdidas que se producen en el circuito primario geotérmico.

7.5.5.7 Selección del vaso de expansión

Es el elemento utilizado en circuitos de calefacción para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido caloportador que contiene el circuito.

En el caso del presente proyecto se va a utilizar un vaso de expansión cerrado con diafragma siguiendo el principio de dimensionamiento establecido por la norma **UNE 100.155 en su apartado 7** y descrito en el **Anexo 2**.

Dicho elemento debe poseer un volumen de **4,36 l** como se muestra en el citado anexo y se ha seleccionado el modelo que aparece en el catálogo de **Salvador Escoda** como **vaso de expansión de membrana fija 5 SMF**.

Las características de este vaso de expansión utilizado también aparecerán el mencionado anexo.

7.5.5.8 Sistema de llenado, vaciado y purga

El fluido caloportador será introducido en el circuito con la ayuda de una bomba de aspiración manual, la cual trasladará el fluido, fruto de la mezcla de agua y etilenglicol, desde el depósito donde se prepara dicha mezcla al circuito.

Para el vaciado se utilizará una válvula cuyo diámetro sea superior a 25 mm tal y como indica el **RITE** en su **IT 1.3.4.2.3** debido a la potencia térmica del equipo.

Para realizar el purgado se utilizará un dispositivo de purga de aire con un diámetro superior a 15 mm, establecido así por el **IT 1.3.4.2.3 del RITE**.

8. Instalación Energía Solar de Baja Temperatura

8.1 Introducción a la Energía Solar

Queda claro que la energía solar es una fuente energética gratuita e inagotable y las instalaciones de aprovechamiento térmico a partir de esta fuente no producen afecciones en el medio físico. Una definición de ésta podría ser:

“La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol”.

El valor de la radiación incidente sobre una superficie depende de factores como la latitud, longitud, estación del año, las condiciones climatológicas del lugar, orientación e inclinación de la superficie sobre la que incide la radiación...., encontrándose España en una situación ventajosa frente a otros países por su climatología y por un elevado número de horas de sol diarias.

Esta energía solar incidente se aprovecha mediante dos tipos de sistemas en función de la forma de capturar, convertir y distribuir la energía, que son:

- a) **Sistemas pasivos:** En este caso la energía electromagnética procedente del sol se convierte en energía térmica para favorecer (invierno) o evitar (verano) el calentamiento del edificio reduciendo así el consumo de energía de calefacción o refrigeración respectivamente. Estos sistemas pasivos juegan con la orientación del edificio y el uso adecuado de los distintos elementos arquitectónicos (ventanas, lucernarios...).
- b) **Sistemas activos:** En el caso de estos sistemas hay dos tipos de aprovechamiento de la energía captada que son:
 - **Energía Solar Fotovoltaica:** Esta consiste en la obtención de electricidad directamente a partir de la radiación solar mediante una célula fotovoltaica, o una deposición de metales sobre un sustrato llamada célula solar de película fina.
 - **Energía Solar Térmica:** Estos sistemas fototérmicos convierten la radiación solar en calor que lo transfieren a un fluido de trabajo, quien a su vez lo cede en un intercambiador para calentar generalmente agua. Dichos sistemas son utilizados para la producción de agua caliente sanitaria, calefacción en edificios, generación de electricidad mediante la

acción de turbinas, secaderos... Los Colectores Térmicos Solares se dividen en tres categorías, dependiendo de la temperatura de utilización:

- a) Colectores de alta temperatura: Operan a temperaturas superiores a los 500 °C y se utilizan para la generación de energía eléctrica y su posterior distribución. Las diferentes tecnologías utilizadas son:

Figura 8.1: Centrales Cilindro-parabólicas



Figura 8.2: Centrales de Concentradores lineales tipo Fresnel

Figura 8.3: Centrales Disco-parabólicas



- b) Colectores de temperatura media: Son dispositivos que trabajan en torno a unas temperaturas de entre 100 y 300°C, algo inferiores a las anteriormente nombradas.

- c) Colectores de baja temperatura: Producen calor útil a temperaturas inferiores a 65°C para aplicaciones como agua caliente sanitaria, calentamiento de piscinas, climatización de viviendas, así como para procesos industriales que necesiten temperaturas inferiores a unos 60°C.

8.2 Tecnología utilizada en el Proyecto

La tecnología utilizada en el presente proyecto es la correspondiente a la *energía solar de baja temperatura*. Como se ha descrito en este tipo de energía la radiación procedente del sol es utilizada para calentar un fluido de trabajo obteniendo unas temperaturas inferiores a los 45-60°C.

Las aplicaciones que se desarrollan en el proyecto son las referentes a la calefacción y la obtención de agua caliente sanitaria. Con la instalación de esta tecnología, la cual se vale de la **energía térmica** de un fluido caloportador, se persigue el mayor ahorro posible de consumo eléctrico en la vivienda motivo de proyecto.

8.3 Principio de funcionamiento de una instalación solar de baja temperatura

El principio de funcionamiento de una instalación solar de baja temperatura es tan sencillo como el hecho de convertir la radiación procedente del sol en energía térmica. Para ello se necesita la ayuda de varios componentes:

- **Captadores**: Capaces de absorber la radiación procedente del sol transmitiéndosela a un fluido de trabajo que circula por ellos.

- **Fluido de trabajo**: Fluido que gracias a la acción de los colectores es capaz de almacenar energía térmica en su interior para luego cederla.

- **Intercambiador**: Elemento en el cual se lleva a cabo la cesión de calor por parte del fluido de trabajo hacia un líquido (agua) que será utilizado para calefacción, agua caliente sanitaria...

- **Acumulador:** Lugar donde el líquido (agua) una vez calentado permanece a la espera de ser distribuido a los distintos puntos de utilización.

- **Sistema hidráulico:** Conjunto de elementos (tuberías, válvulas, bombas de circulación...) que ayudan al desplazamiento del fluido de trabajo y al líquido (agua) objeto de distribución en el interior de la vivienda.

- **Bomba de Calor:** En este caso se va a introducir también una bomba de calor aire-agua, que tendrá como objetivo elevar la temperatura del agua para el uso de calefacción en el caso de que la energía solar no fuera suficiente. Además trabajará durante la época de verano proporcionando refrigeración al edificio gracias a su reversibilidad.

Ha de mencionarse que en muchas ocasiones el intercambiador y el acumulador se unen en un elemento denominado interacumulador, donde se procede al calentamiento y depositado del líquido que más tarde será distribuido.

El principio de funcionamiento comienza cuando el colector absorbe la radiación solar procedente del sol. Éste actúa como lo haría la Tierra debida al efecto invernadero, por tanto, evita la salida de esa radiación que es utilizada para calentar un fluido de trabajo. Este fluido fluye por unos tubos situados en el interior del colector, y a medida que lo atraviesa va aumentando su temperatura. Una vez sale de éste se dirige al intercambiador, donde se producirá la cesión de calor por parte del fluido de trabajo con el consiguiente aumento de la temperatura del agua utilizada en el circuito secundario (circuito de agua caliente sanitaria, circuito calefacción...). Terminado este intercambio, el fluido de trabajo vuelve a introducirse en el colector gracias a la ayuda de una bomba cerrando así el ciclo del circuito primario.

La bomba de calor se introduce para que entre en funcionamiento en el caso de que la temperatura alcanzada por la acción de los captadores solares no sea suficiente y en el caso de la época más calurosa dará cobertura cubriendo las necesidades de refrigeración.

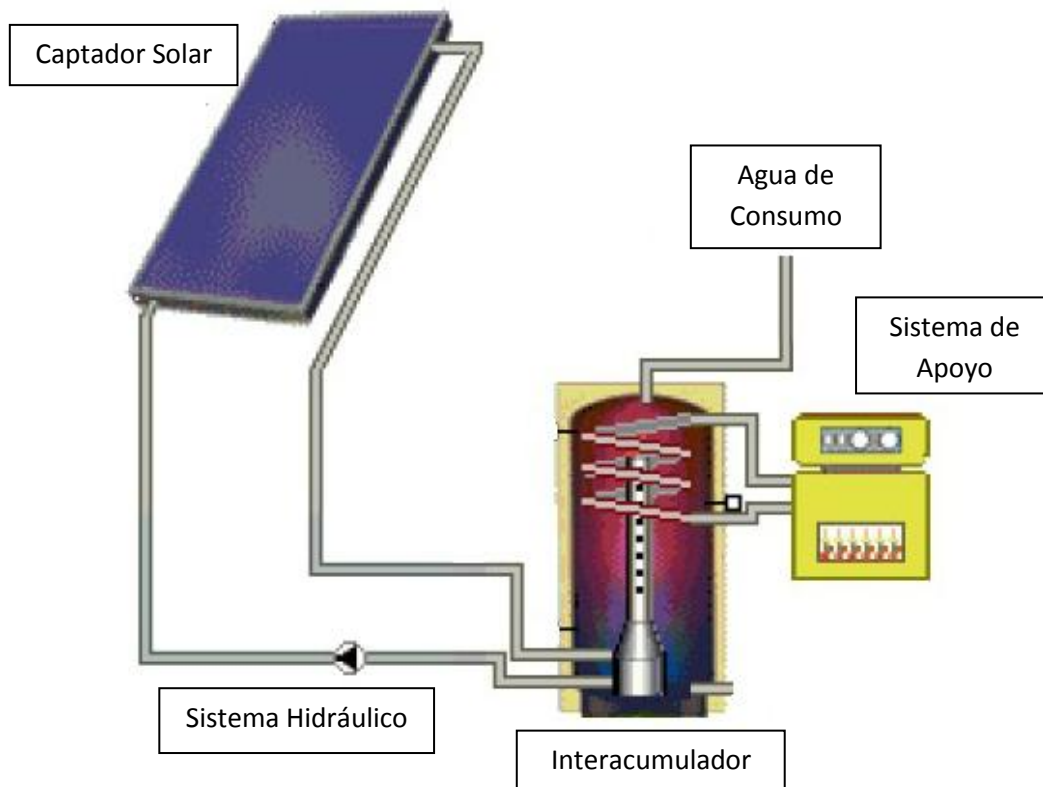


Figura 8.4: Esquema de una instalación solar de baja temperatura

8.4 Tipos de circuitos primarios de la instalación solar

Se puede distinguir entre dos tipos de configuración para el circuito primario de la instalación solar de baja temperatura y son:

- **Circuito primario de ciclo abierto:** Estos utilizan bombas para circular el agua a través de los colectores, llevando directamente el fluido desde los colectores hasta los puntos de abastecimiento (ducha, grifo,...). Es un diseño muy eficiente y de bajo costo de operación pero no es apropiado si el agua es dura o ácida, puesto que dañaría los colectores; tampoco se utiliza en lugares donde las temperaturas puedan caer por debajo de los 0°C.
- **Circuito primario de ciclo cerrado:** En este circuito no es el agua el líquido bombeado sino un fluido caloportador (normalmente mezcla de anticongelante de agua y glicol, previniendo así posibles congelaciones del fluido de trabajo). La transferencia de calor se realiza dentro de un intercambiador, donde la mezcla de agua y glicol cederá el calor al agua por medio de un serpentín y más tarde será distribuida a los puntos de abastecimiento. La instalación de este

sistema supone una mayor inversión y la mezcla de agua y glicol debe ser revisada cada año y cambiarla si fuera necesario, pero es más apta para su instalación en lugares cuyas temperaturas pueden situarse debajo de los 0°C.

8.5 Tipos de sistemas de circulación

Cabe indicar que se pueden diferenciar entre los siguientes tipos de circulación que se describen a continuación:

- **Circulación natural o termosifón:** Se basa en el principio por el que el fluido del circuito primario, calentado por el sol, disminuye su densidad, se vuelve más ligero y asciende, provocando un movimiento natural del propio fluido. Esto sucede cuando el agua o fluido caloportador se calienta en el captador solar disminuyendo así su densidad. Por ello, se vuelve más ligero y tiende a subir, mientras que el fluido frío baja y pasa a ocupar el lugar dejado libre por el fluido caliente. De esta manera, no son posibles circulaciones invertidas ya que el más caliente se queda cada vez más arriba. Debido a esto se coloca el depósito de acumulación de agua siempre por encima del colector.

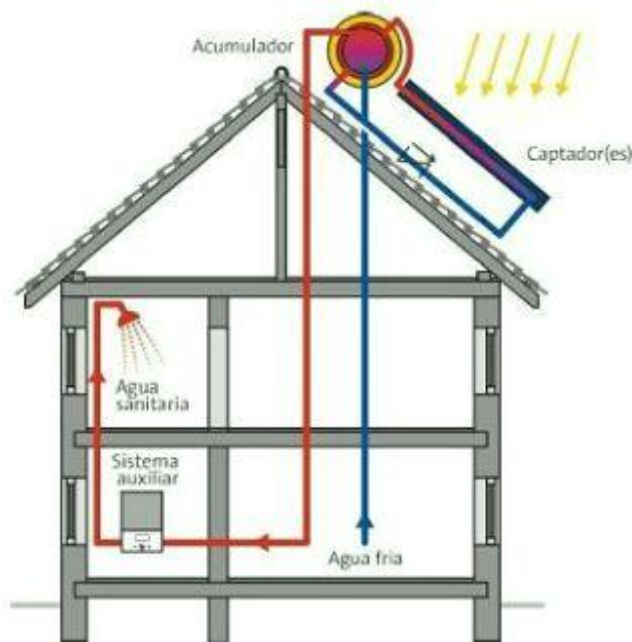


Figura 8.5: Esquema circulación natural o termosifón

- **Circulación forzada:** La diferencia con el citado anteriormente es que el fluido se ve ayudado, en su avance por el circuito cerrado, por la acción de una bomba dirigida por una centralita o termostato que se activa, a su vez, por sondas colocadas en el colector y en el depósito. Esta centralita mandara la señal de puesta en marcha de la bomba cuando la diferencia de temperatura entre la sonda situada a la salida de los captadores solares y la sonda instalada en la parte inferior del acumulador se encuentre estipulada (alrededor de 6-7°C) y desactivándola cuando la diferencia este entre 2-3°C.

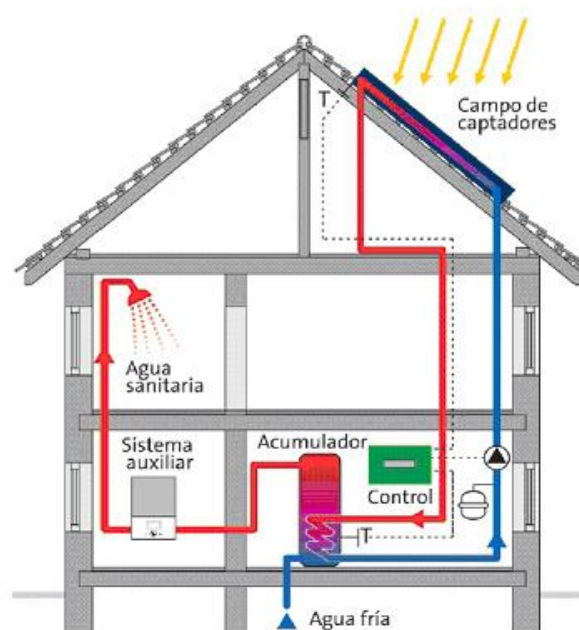


Figura 8.6: Esquema circulación Forzada

8.6 Pre dimensionamiento de la Instalación Solar

Con la instalación que se va a describir a continuación y mediante la utilización del método F-chart, en un primer momento, se han obtenido unos resultados del **57,3 %** de la cobertura anual en el caso del uso en calefacción. Sin embargo, tras comparar dichos resultados con los datos reales de consumo se obtiene que la cobertura solar es superior y llega hasta un **68,22 %**, lo que favorece todavía más la idea de poder llevar a cabo este tipo de instalación. Durante los meses de junio, julio, agosto y septiembre los captadores permanecerán tapados, a excepción de uno (el que dotará a la vivienda de A.C.S.). Esto se debe a que ningún mes del año puede superar el 110% de cobertura

solar y no se puede dar una cobertura del 100% mensual durante 3 meses consecutivos, y en esta época se estaría ante dicha situación por lo que se optará por esa solución.

Para el caso de la preparación del A.C.S., mediante la utilización de un solo captador solar (el que quedará destapado durante todo el año), la cobertura que proporcionaría la siguiente instalación sería de un **83,1 %**. Ambos resultados se pueden ver en los *Anexos 3 y 4* respectivamente.

8.6.1 Selección del circuito primario

Una vez explicada la diferencia entre ambos sistemas en el *apartado 8.4* se llega a la conclusión que la opción más idónea para este proyecto es la mencionada en segundo lugar, es decir, *circuito primario de ciclo cerrado*. Aunque supone una inversión superior a la de ciclo abierto, queda solucionado el problema de posibles congelaciones en el líquido utilizado y con ello la disminución de la eficiencia de la instalación, ya que en la población donde tiene lugar el desarrollo de este proyecto, Híjar, las temperaturas pueden descender por debajo de los 0°C.

8.6.2 Selección del sistema de circulación

Aclarado el funcionamiento de ambos sistemas en el *apartado 8.5* se pueden sopesar los distintos pros y contras que ofrecen cada uno de ellos. En el caso de la circulación natural sus ventajas radican en la facilidad de montaje, en un mantenimiento mínimo y en una menor inversión económica puesto que carece de la necesidad de bombas de circulación, sondas, centralitas. Sin embargo el rendimiento del sistema solar mediante este tipo de circulación se ve mermado, y se obliga a situar el depósito por encima de los colectores con el riesgo que esto supone para la estructura del tejado.

Debido a ello el sistema elegido ha sido el de **circulación forzada**. Este sistema conlleva una inversión inicial superior al sistema de circulación natural, pero es un factor que se ve compensado por la posibilidad de una producción mayor de agua caliente sanitaria, puesto que ofrece un rendimiento superior al anterior. Otro factor compensativo es la posibilidad de introducir el depósito de agua dentro de la vivienda, lo que significa que la vida útil de este elemento aumentará considerablemente.

8.6.3 Selección de los Captadores Solares

Se ha estudiado la posibilidad de instalar captadores de placa plana o colectores de tubo de vacío, eligiéndose estos últimos. Los de tubo de vacío son capaces de proporcionar una temperatura mayor al fluido de trabajo ya que tienen mayores rendimientos y pueden trabajar a temperaturas de unos 70 – 80 °C, algo superiores a las que proporcionan los de placa plana.

El sistema de captación quedará compuesto por 6 captadores de la marca **VISSMAN** en su modelo **VITOSOL 200-T SP2** compuesto por 20 tubos:

MARCA	MODELO	Nº DE TUBOS	NºCAPTADORES	INSTALACIÓN
VISSMAN	Vitosol 200-T SP2	20	6	Paralelo

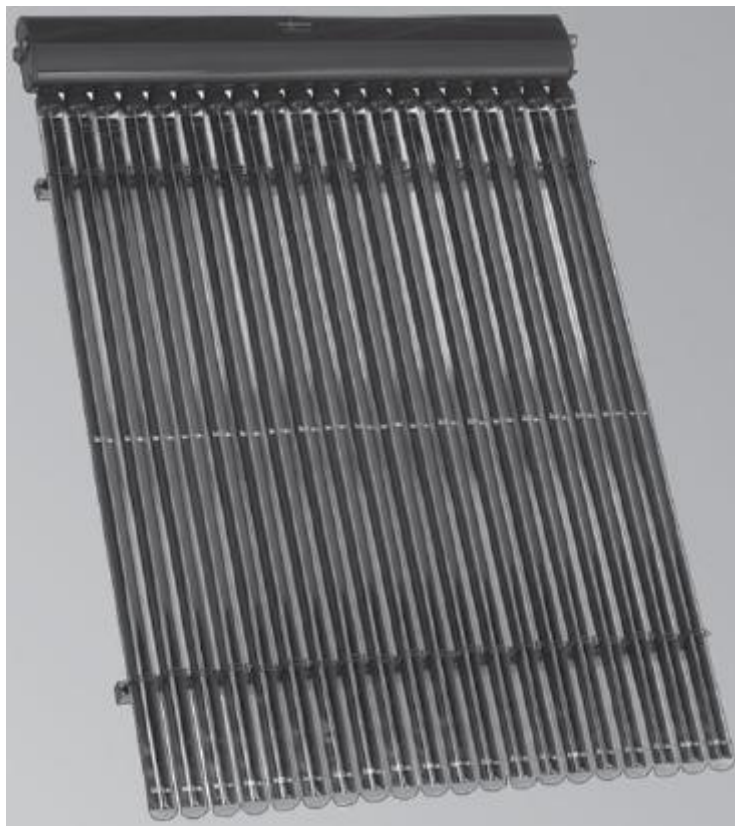


Figura 8.7: Captador de tubos de vacío modelo **VITOSOL 200-T SP2** de la marca **VISSMANN**

Los captadores están compuestos por 20 tubos lo que da lugar a una superficie de absorción de 2 m^2 , serán instalados sobre la cubierta del tejado el cual posee una orientación sureste algo que aumentará el rendimiento de estos. Dichos captadores se dispondrán en dos baterías de 3 captadores ocupando cada una de estas baterías una superficie de $8,7 \text{ m}^2$ suponiendo un total de $17,4 \text{ m}^2$ de superficie. Estas baterías quedaran conectadas en **paralelo** encontrándose tanto la entrada como la salida en la parte superior de estos. Todas las características de los captadores quedan recogidas en el **Anexo 5**.

8.6.4 Selección del Fluido Caloportador

El fluido caloportador es aquel que circula por el circuito primario y el encargado de absorber la radiación procedente del sol. Este es elegido conforme a las necesidades que existen en la zona de realización del proyecto pudiendo ser únicamente agua o una mezcla de esta con un anticongelante. Esta última se utiliza en casos donde las temperaturas pueden llegar a ser inferiores de los 0°C produciendo la congelación de dicho fluido y provocando el deterioro o rotura del sistema.

Así pues el fluido de trabajo utilizado en este sistema es ***una mezcla de agua glicolada con un 30% en peso de etilenglicol*** que será capaz de soportar temperaturas por debajo de los 0°C, y que tiene las siguientes características:

- **Composición:** Agua 70% + Etilenglicol 30% (peso)
- **Temperatura de congelación:** -12,8 °C
- **Temperatura de ebullición:** 102 °C
- **Densidad (20°C):** 1046 kg/m³
- **Calor específico (20°C):** 3672 J/ Kg K
- **Conductividad térmica (20°C):** 0,48 W/m K
- **Viscosidad dinámica μ (20°C):** 0,001428 Kg/m s

8.6.5 Selección de la Bomba de Calor

Como ya se explico en el ***apartado 3*** de esta sección de la memoria se va a introducir una bomba de calor reversible aire-agua como modo complementario a la instalación de los captadores solares. Con ello se afianza el cubrir toda la demanda de calefacción en la época de invierno y proporcionar refrigeración en verano con un consumo mínimo de energía.

Esta decisión se ha tomado ya que en los meses de mayor demanda de calefacción (noviembre, diciembre ,enero, febrero) el aporte otorgado por los captadores solares se queda corto y la vivienda se vería obligada a consumir una mayor cantidad de energía eléctrica. Además la característica de la reversibilidad le dá la propiedad de condicionar la vivienda también en verano y todo ello con un consumo de energía eléctrica inferior al que se realizaría sin la introducción de este elemento.

Una vez argumentada la utilización de dicho equipo en el circuito primario debemos indicar las características que tiene que cumplir. Como ya se ha indicado en anteriores secciones de esta memoria las demandas que debe cubrir la bomba de calor aire-agua son de ***65,1 kWh/m² para calefacción y 10,3 kWh/m² para refrigeración***, dando lugar a unas cargas térmicas de ***5,74 kW y 5,04 kW*** respectivamente.

Por ello se utilizará una *bomba de calor reversible aire-agua de la empresa CIAT modelo AQUALIS 2+ 28H*, con una potencia calorífica de **7,66 kW** a unas temperaturas de trabajo entre 6/7°C y 40/45°C (ideal para fancoil) y una potencia frigorífica de **6,62 kW**. Dicho modelo aparecerá con sus características en el *Anexo 5*.



Figura 8.8: Bomba de calor aire-agua modelo AQUALIS 2+28H de la empresa CIAT

8.6.6 Circuito Hidráulico

8.6.6.1 Tuberías

Las tuberías utilizadas para la distribución del fluido caloportador son de cobre y poseen varios diámetros que se citaran a continuación.

Para el caso de los tramos que albergan un caudal superior, que son el caso del tramo de tubería procedente del interacumulador hasta la bifurcación que da lugar a las dos baterías y el tramo donde se recoge el caudal de ambas baterías y se lleva hasta el interacumulador (Tramo 1-2 y Tramo 3'-4 que aparecen en el *Anexo 5*), el diámetro es mayor con respecto a aquellas que pertenecen a los tramos de las bifurcaciones de las dos baterías. Así pues las distintas características de estas tuberías son las siguientes.

Tramos de mayor caudal:

- **Material:** Cobre
- **Diámetro nominal:** 28 mm
- **Espesor:** 1 mm

Tramos de menor caudal:

- **Material:** Cobre
- **Diámetro nominal:** 22 mm
- **Espesor:** 1 mm

El diámetro de esta última tubería coincide con el diámetro de entrada al captador.

Con estos diámetros se consigue que las velocidades sean inferiores a 2 m/s y las pérdidas de carga inferiores a 40 mm.c.a./m, con lo que se cumple con las especificaciones del código técnico.

8.6.6.2 Válvulas y accesorios utilizados en el Circuito Primario Solar

En el caso del circuito primario solar se van a introducir un mayor número de válvulas, ya que al quedar la instalación dividida en dos baterías se debe prevenir el posible vaciado de alguna de ellas si hubiera algún tipo de problema por lo que deben quedar de alguna manera aisladas. Para ello se utilizarán válvulas de corte, dos en cada una de las baterías, una previa a la entrada del fluido al primer captador de cada batería y una segunda tras el último de los tres captadores que forman cada una de estas. Se utilizarán también válvulas de llenado y vaciado dispuestas en las tuberías previas de salida y entrada de la bomba de calor respectivamente. Otras válvulas serán las de equilibrado de caudal, regulando y consiguiendo así el caudal necesario en cada uno de los ramales en los que se bifurca la tubería principal.

Una válvula clave en este circuito es la que se situará en la tubería previa a la bifurcación que da lugar a las dos baterías de captadores y que se trata de una válvula antirretorno.

Otras válvulas necesarias serán las de seguridad que se situarán en la entrada de las baterías. Así pues las distintas válvulas y accesorios quedan indicados a continuación:

- Cuatro válvulas de corte: válvulas de esfera
- Válvulas de seguridad: válvulas de resorte
- Dos válvulas de carga y descarga: válvulas de esfera
- Una válvula antirretorno
- Dos válvulas de equilibrado de caudal
- Dos T's
- Nueve codos 90°
- Vaso de expansión

8.6.6.3 Caudal circulante por el Circuito Primario

El caudal circulante por el circuito primario será de **50 l/h m²** lo que cumple con el rango que marca el CTE situado entre 43,2-72 l/h m². Esto da como resultado que el ramal de tubería que transporta el fluido entre el interacumulador y las baterías de captadores, y estas de nuevo con el interacumulador posean un caudal de **600 l/h**. Para el caso de las tuberías utilizadas en las dos baterías deben transportar un caudal de **300 l/h**. Esto supone un caudal global de **0,6 m³/h** y uno por cada batería de **0,3 m³/h**.

La utilización de estos caudales y los diámetros mencionados dan lugar a unas velocidades y pérdidas de carga que cumplen con lo exigido por el CTE.

8.6.6.4 Pérdidas de Carga del Circuito Primario

Para el cálculo se han tenido en cuenta las pérdidas por fricción producidas a lo largo de las tuberías utilizadas, las pérdidas de carga singulares producidas en los distintos accesorios y válvulas (codos, T's, válvulas...), y las que se dan en los equipos utilizados (captadores, interacumulador). Así pues el conjunto de estas dan lugar a una pérdida de carga total de **2,032 m.c.a.**

8.6.6.5 Selección de la Bomba de Circulación

La bomba de circulación es la que se encarga de suministrar la suficiente energía al fluido de trabajo para que este pueda completar el circuito primario cerrado sin ningún problema, transportando de esta manera la energía absorbida por los captadores desde estos hasta el depósito de inercia o interacumulador. Para su elección se deben de tener en cuenta dos parámetros que son:

- El caudal (Q) circulante por el circuito primario cerrado
- Las pérdidas de carga producidas en dicho circuito.

Como ya se ha mencionado el caudal circulante es de **600 l/h** que traducidos a m^3/h son **0,6**, y las pérdidas producidas son **2,032 m.c.a.** Así pues la bomba seleccionada pertenece a la marca **SEDICAL**, siendo el modelo la **SAM 25/125-0.5/K**. Las características de la bomba seleccionada aparecen en el **Anexo 5**.

8.6.6.6 Selección del vaso de expansión

Es el elemento utilizado en circuitos de calefacción para absorber el aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido caloportador que contiene el circuito.

En el caso del presente proyecto se va a utilizar un vaso de expansión cerrado con diafragma siguiendo el principio de dimensionamiento establecido por la norma **UNE 100.155 en su apartado 7** y descrito en el **Anexo 5**. Dicho elemento debe poseer un volumen de **2,27 l** como se muestra en el citado anexo y se ha seleccionado el modelo que aparece en el catálogo de **Salvador Escoda** como **vaso de expansión de membrana fija 5 SMF**.

Las características de este vaso de expansión utilizado también aparecerán en el mencionado anexo.

8.6.6.7 Depósito de Inercia

Este es el encargado de acumular el agua necesaria que circulará por el circuito secundario. En el caso de este proyecto el depósito de inercia utilizado recibe el nombre de **interacumulador**, esto es debido a que el fluido caloportador procedente del circuito primario se hará circular por el serpentín que lleva integrado con lo que la transferencia de calor se llevara a cabo en su interior sin la necesidad de utilizar intercambiador de placas.

Así pues los requerimientos por parte de esta instalación son de un volumen de **960 l**, con lo que el interacumulador tendrá una capacidad de **1000 l**. El escogido para esta instalación pertenece a la marca **VIESSMANN**, siendo en este caso el modelo seleccionado el **Vitocell 360-M 1000l**. Dicho modelo tiene la posibilidad de conectarle tanto un sistema de captadores solares como uno de bomba de calor, y posee la ventaja de contar con una estratificación que permite diferenciar entre el agua usada para consumo diario y agua para calefacción o refrigeración. Las características de dicho interacumulador quedarán recogidas en el **Anexo 5**.

8.6.6.8 Sistema de llenado, vaciado y purga

El fluido caloportador sera introducido en el circuito con la ayuda de una bomba de aspiración manual, la cual trasladara el fluido, fruto de la mezcla de agua y etilenglicol, desde el depósito donde se prepara dicha mezcla al circuito.

Para el vaciado se utilizara una válvula cuyo diametro sea superior a 25 mm tal y como indica el **RITE** en su **IT 1.3.4.2.3** debido a la potencia térmica del equipo.

Para realizar el purgado se utilizara un dispositivo de purga de aire con un diametro superior a 15 mm, establecido asi por el **IT 1.3.4.2.3 del RITE**.

9. Instalación de Agua Caliente Sanitaria (A.C.S)

9.1 Introducción a la producción de A.C.S

El agua de consumo es suministrada a los distintos puntos de uso (duchas, baños...) mediante derivaciones exclusivas.

En la producción de dicho agua deben existir siempre intercambiadores en cuyo interior se transfiera el calor procedente de gases de combustión, de captadores solares, geotérmica..., al A.C.S. evitando la mezcla entre los circuitos primario (solar, geotérmico en el caso de este proyecto) y secundario (distribución del A.C.S). Así pues hay dos formas de producir este agua que son:

- **Producción instantánea:** El agua circulante por el circuito secundario es calentada gracias a la transferencia llevada a cabo en un serpentín por el que discurre el fluido de trabajo (agua, agua+anticongelante) del circuito primario. Es pues una preparación del agua instantánea por lo que su característica más destacable es que el diseño de los intercambiadores está condicionado al momento de máxima demanda de la instalación. Con estos se requiere una potencia superior y la instalación es menos homogénea debido a que únicamente se calienta cada vez el caudal de agua necesario para el consumo.
- **Producción por acumulación:** En este caso el agua localizada en un depósito es calentada mediante el fluido utilizado en el circuito primario solar o geotérmico (en el caso de este proyecto) mediante un intercambiador de calor y queda acumulado en su interior hasta el momento de su uso. Este sistema también recibe el nombre de “centralizado” y sus principales ventajas frente al anterior son: un menor consumo de potencia, ya que en las demandas pico del edificio se utiliza el agua acumulada; al estar localizada en un depósito la instalación es más homogénea, ya que este agua estará continuamente fluyendo por la red de tuberías hasta el momento de su utilización. Dependiendo del volumen de acumulación podemos distinguir dos tipos:
 - ***Acumulación:*** Los volúmenes de acumulación se diseñan para atender a la demanda punta con el agua acumulada.
 - ***Semiacumulación:*** En este caso el volumen acumulado solo puede hacer frente a una parte de esa demanda punta, requiriendo el apoyo de la producción instantánea para cubrir la punta completa.

En el caso de este proyecto el sistema utilizado va a ser el de producción por acumulación, siendo el volumen de acumulación suficiente para afrontar la demanda punta de agua en cualquier momento. Así pues se trabajará como se ha mencionado con un *interacumulador*, los cuales llevan integrado en su interior un serpentín donde se lleva a cabo la transferencia de calor entre el circuito primario y el agua acumulada en dicho depósito sin necesidad de utilizar un intercambiador de placas.

9.2 Prevención de la Legionela

Una de las mayores preocupaciones de los sistemas de A.C.S es la posible proliferación de la legionela (bacteria que vive en aguas estancadas en un amplio rango de temperaturas) al darse la situación de la acumulación de una cantidad importante de agua. Además en este caso al tratarse de la producción de A.C.S con acumulación y posterior recirculación se sitúa dentro de una zona de máximo riesgo de posible desarrollo de esta [10], por lo que se deben tomar medidas para evitar dicha proliferación. Algunas de estas medidas son:

- El agua se debe acumular a una temperatura de al menos 60°C.
- Se deben asegurar los 50°C en los puntos más alejados.
- La instalación permitirá que el agua alcance los 70°C.
- La temperatura del agua fría se debe mantener lo más baja posible procurando una temperatura inferior a los 20°C.

Una vez indicadas las generalidades en cuanto a preparación de A.C.S se refiere y las medidas a tomar para evitar la aparición de la legionela se van a describir las diferentes alternativas que se proponen en el presente proyecto.

9.3 Alternativas en la Producción del A.C.S

En este caso se van a indicar las dos posibles alternativas que se barajan en el presente proyecto, ya que el sistema de preparación de agua caliente sanitaria va a ser centralizado y por lo tanto va a ir ligado de la mano del proyecto seleccionado para conseguir las necesidades energéticas de calefacción y refrigeración ya nombradas.

Así pues aparece una alternativa para instalación solar de baja temperatura y otra alternativa para la instalación geotérmica, las cuales se van a describir a continuación.

9.3.1 Alternativa con Captadores Solares

La instalación es la explicada en el anterior apartado 8, por lo que el agua caliente sanitaria será almacenada y calentada en el interacumulador seleccionado de la casa **VIESSMANN** modelo **Vitocell 360-M 1000l**. Dicho modelo tiene la posibilidad de conectarle tanto un sistema de captadores solares como uno de bomba de calor, y posee la ventaja de contar con una estratificación que permite diferenciar entre el agua usada para consumo diario y agua para calefacción o refrigeración. Una vez almacenada, dicha agua será distribuida a los distintos puntos de uso.

9.3.2 Alternativa Geotérmica

La alternativa de climatización mediante bomba de calor geotérmica, la cual es una de las dos alternativas presentadas en este proyecto, se puede ver complementada por el uso de un interacumulador el cual se utilice para almacenar el A.C.S necesaria en la vivienda.

Esta posibilidad es realmente muy sencilla de realizar ya que lo único que se debe añadir a la instalación geotérmica que se explica en el **apartado 7** de la presente memoria es un interacumulador. Para ello se deberá colocar una válvula de tres vías a la salida de la bomba de calor, la cual se encargará de redireccionar el agua caliente destinada a calefacción al interacumulador para calentar el agua que se utilizara como A.C.S.

Dicho interacumulador pertenece a la casa **BUDERUS**. El interacumulador seleccionado es el **Logalux ER**, el cual tiene una capacidad de **160l**. La válvula de tres vías permitiría el funcionamiento del interacumulador una vez se hubiera cubierto la demanda de calefacción o refrigeración, lo que no sería un problema puesto que se puede programar tanto el tiempo de uso de climatización como el de A.C.S permitiendo así una complementación perfecta de ambos sistemas.



Figura 9.3: Interacumulador *Logalux ER 160l* utilizado en la instalación de A.C.S. geotérmica

10. Selección del circuito interior

10.1 Sistema de Suelo Radiante / Refrescante

El suelo radiante/refrescante es una manera de llevar a cabo la climatización del lugar mediante la utilización de agua como medio de transporte de energía. En este caso el agua procedente del interacumulador es dirigida por unos tubos que se encuentran embebidos en una losa de hormigón que está bajo el suelo produciendo una sensación de calor en invierno y una sensación de frescor en verano, en función de la temperatura del agua que circula por su interior.

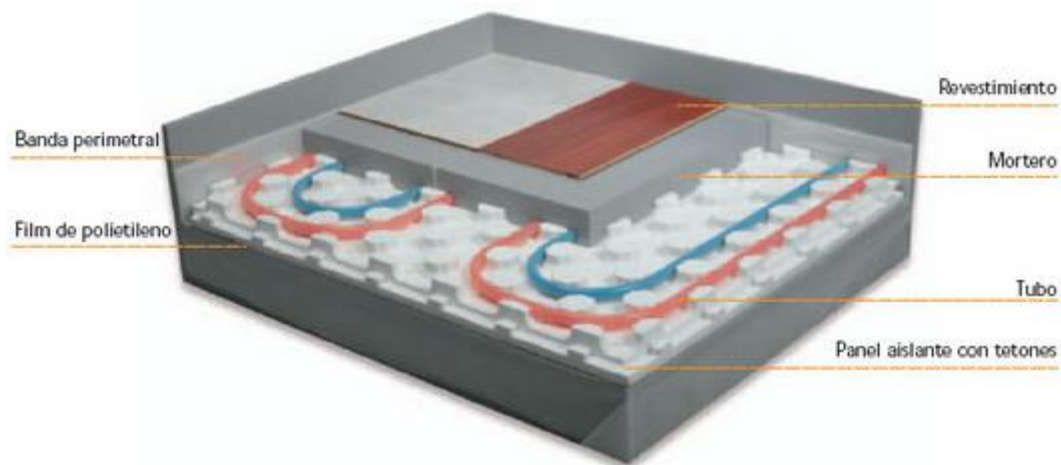


Figura 10.1: Esquema de los elementos que componen una instalación de suelo radiante/refrescante

Principio de Funcionamiento del suelo Radiante/ Refrescante

La climatización por suelo radiante consiste básicamente en la emisión de calor por parte del agua que circula por los tubos embebidos en la losa de hormigón que constituye el suelo. De esta forma se consigue una gran superficie como elemento emisor de calor. En los meses fríos, a una temperatura en torno a los 35-40°C, el agua recorre los tubos que cubren el suelo y aporta el calor necesario para calefactar la vivienda. Por el contrario en los meses cálidos se hace circular el agua por el circuito secundario (climatización) en torno a unos 15°C, provocando así que absorba el exceso de calor localizado en la vivienda y proporcione una agradable sensación de frescor. Así pues se puede decir que es un sistema muy eficiente en cuanto a la manera de climatizar la vivienda se refiere.

10.2 Sistema de Fancoils

Los Fancoils son un sistema de climatización que combina circulación de agua y aire, y se caracteriza por una rápida inercia térmica y una alta fiabilidad. Por lo tanto estos están claramente divididos en dos subsistemas: un primer subsistema que transporta agua a una temperatura dada a un punto de la instalación a través de tuberías y un segundo subsistema de ventilación que ayuda a la recirculación del aire en una estancia. Así pues se puede decir que este tipo de climatización también se vale del transporte de agua para conseguir unas condiciones de confort óptimas.



Figura 10.2: Situación de una estancia climatizada mediante Fancoil

Principio de Funcionamiento de los Fancoil

La forma de conseguir la climatización de una estancia, a una temperatura dada, a través de un Fancoil, consiste en enviar agua refrigerada o calentada a través de la tubería, cuyo flujo se controla a través de las válvulas. El Fancoil típico (el de suelo) presenta dos rejillas, una inferior y otra superior. Gracias a la acción del ventilador, se hace recircular el aire de la estancia, entrando éste por la rejilla inferior, pasando a través de la o las tuberías que transportan el agua, y saliendo de nuevo por la rejilla superior. Este ciclo, repetido de forma continuada, permite que el aire se aclimate a la temperatura de las tuberías proporcionando un ambiente de bienestar en la habitación a climatizar.

10.3 Ventajas e inconvenientes de ambos Sistemas

10.3.1 Sistema de Suelo Radiante/ Refrescante

Entre sus ventajas destacan las ausencias de corrientes de aire, ausencia de ruidos debido a la no utilización de radiadores y a la obtención de una climatización de máximo confort.

Por otra parte tiene la desventaja de ser un edificio ya construido y tener que levantar todo el suelo para llevar a cabo la obra, lo que originaría un desembolso económico superior puesto que el precio por m² es aproximadamente de **100 €**, también se produciría ruido que afectaría a los vecinos..., por lo que es un punto en contra de este método de climatización.

10.3.2 Sistema de Fancoils

Una de sus ventajas es al igual que el sistema de suelo radiante/ refrescante la óptima climatización de la estancia mediante agua a baja temperatura y con la ayuda de un ventilador, en cuanto a su diseño es agradable para la vista pudiéndose utilizar como un objeto decorativo dependiendo de su situación en la vivienda. Supone un coste inferior en comparación con la instalación de suelo radiante/refrescante, entre **2.500-3.000 €** para toda la instalación según los datos proporcionados por la casa **CIAT**.

Sin embargo es cierto que al poseer un ventilador surgen corrientes de aire y pequeños ruidos, algo que dependiendo del grado de cada uno de ellos puede llegar a ser muy molesto.

10.4 Selección del sistema para la climatización

Como se sabe en el mundo de la ingeniería prevalece siempre la decisión óptima, la cual es aquella que reúne la mejor relación calidad/precio aunque en ocasiones siempre debe situarse por delante la opción de la calidad aún a pesar de que derive en un coste superior. En este caso se ha optado por la mejor relación calidad/precio después de contrastar los diferentes campos (técnico y económico) y por ello **la opción elegida ha sido la del sistema de Fancoils.**

En cuanto a la parte técnica las temperaturas de trabajo y sensación de confort son muy parecidas en ambos sistemas, incluso el suelo radiante/refrescante es mejor al igual que en las facetas de ruidos y corrientes de aire. Sin embargo estas dos últimas desventajas que poseen los fancoils son mínimas debido a la selección, como se verá más adelante, de unos fancoils de alta calidad y que reducen al mínimo estas dos últimas desventajas.

En lo referido a la parte económica, el sistema de fancoils gana la partida ya que supone un desembolso inferior como se ha podido comprobar en la página anterior.

10.5 Situación y elección de los Fancoils en la vivienda

Todas las estancias de la vivienda exceptuando los baños y la cocina contarán con al menos 1 fancoil, el cual va a depender de la necesidad exigida en cada una de ellas y la potencia calorífica o frigorífica que este consiga proporcionar. En el caso de los baños no será necesaria la instalación de ninguno ya que el espacio en estas estancias es reducido y el efecto de los demás será suficiente para su aclimatación; para el caso de la cocina debido a su situación en la vivienda (orientación suroeste) recibe gran cantidad de radiación solar y además posee una concentración de equipos de cocina (frigorífico, horno, lavavajillas...) elevada, por lo que los distintos aportes de calor servirán para obtener una temperatura adecuada en invierno, mientras que en verano con el efecto de los demás aparatos de la vivienda será suficiente para su aclimatación.

A continuación se muestran los distintos modelos seleccionados para cada una de las estancias en la Tabla 10.1:

Estancias	Sup Estancia (m ²)	Modelo Elegido	Unidades	Pot Calorífica (W)	Pot Frigorífica (W)
Pasillo	10,36	Major Line 102A V1	1	881	843
Salón-Comedor	21	Major Line 102A V5	1	1460	1410
Dormitorio 1	10,37	Major Line 102A V1	1	881	843
Dormitorio 2	8,13	Major Line 102A V1	1	881	843
Dormitorio 3	12,86	Major Line 102A V1	1	881	843
Dormitorio 4	11,16	Major Line 102A V1	1	881	843

Tabla 10.1: Modelos seleccionados de Fancoils para las distintas estancias de la vivienda

Todos los modelos elegidos son Fancoils de tipo vertical y carrozados, con batería de agua de dos tubos, además como se dijo con anterioridad reducen el nivel de ruido frente a sus predecesores y poseen un mejor control de la temperatura de impulsión para aumentar la sensación de confort, las características de estos pueden verse en el *Anexo 6*.

10.6 Cuadro resumen de las instalaciones descritas

INSTALACIÓN GEOTÉRMICA	INSTALACIÓN SOLAR DE BAJA TEMPERATURA
Bomba de Calor <i>AGEO 20HT "agua-agua"</i>	6 Captadores Solares modelo Vitosol 200-T SP2
Sonda PE-HD 100 PN16 SRD11 80m	Juego de conexión
Tubo inyección de relleno diámetro 25mm	Juego de Fijación "ganchos de Cubierta"
1 Pie de sonda diámetro 32 mm	Depósito <i>Vitocell 360-M 1000 l</i>
1 Peso sonda geotérmica 4X32 mm	Bomba de Calor modelo <i>AQUALIS 2+ 28H</i>
12 Distanciadores para sonda 4x32 mm	Fluido Caloportador
Unión Y HS sonda 2 x 32-40	Bomba de Circulación <i>SAM 30/145-0.2/K</i>
Colector ALB GEROtherm 97 2x32 válvula equilibrado	Vaso Expansión Salvador Escoda modelo 5 SMF
Depósito <i>Logalux ER 160 l</i>	
Fluido Caloportador	
Bomba Circulación <i>SAM 25/125-0.08/K</i>	
Vaso Expansión Salvador Escoda modelo 5 SMF	

Tabla 10.2: Cuadro resumen de los elementos utilizados en ambas instalaciones

11. Análisis comparativo de las alternativas propuestas

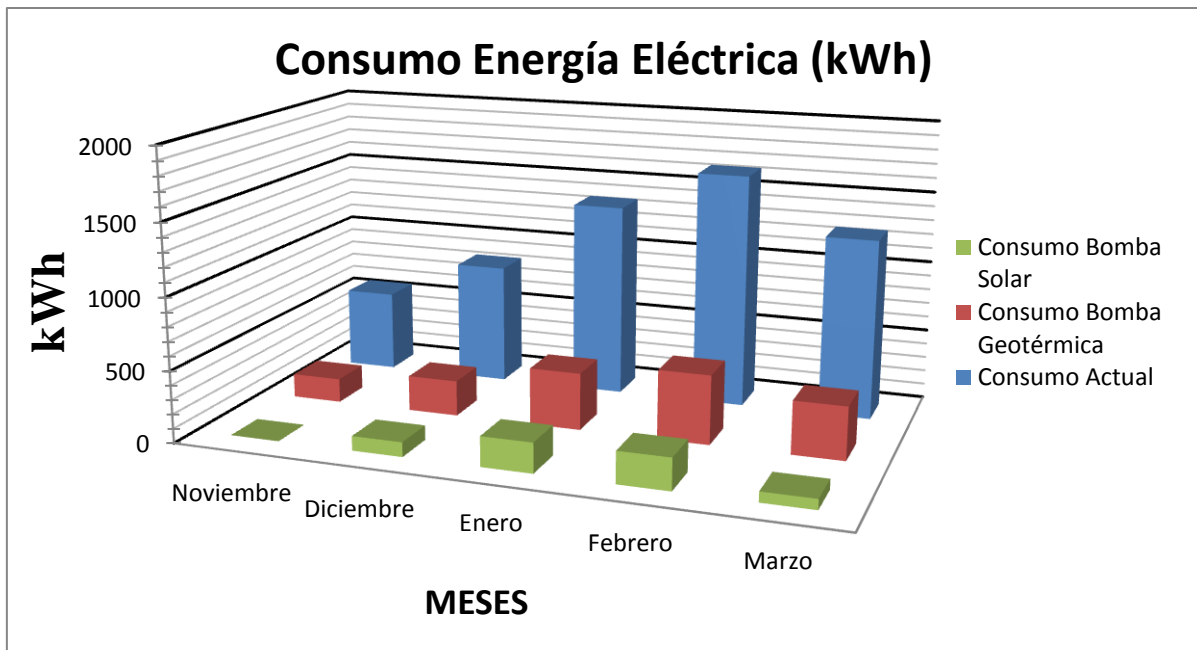
En un primer momento se va a proceder a evaluar las instalaciones que dotarán a la vivienda de un confort tanto en verano como en invierno, es decir, las de climatización. Una vez vista cual es la rentabilidad de cada una de ellas se pasará a seleccionar la mejor desde el punto de vista económico y con ella quedará también seleccionada la instalación de preparación de A.C.S.

Se debe indicar que para hacer dichas observaciones se pone como periodo de trabajo para calefacción los meses de noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo; y para el caso de refrigeración los de junio, julio y agosto tal y como se puede observar en el *Anexo 1*.

11.1 Gráficas de consumo energético y costes de consumo

Para llevar a cabo todo lo mencionado anteriormente se muestran a continuación una serie de gráficas que aclararán lo que supone la instalación de los sistemas citados, es decir la sustitución de la energía eléctrica por energías renovables, en cuanto a consumo energético eléctrico y costes de este se refiere. Las gráficas han sido elaboradas a partir de unas tablas que quedan recogidas en los *Anexos 7 y 9* respectivamente.

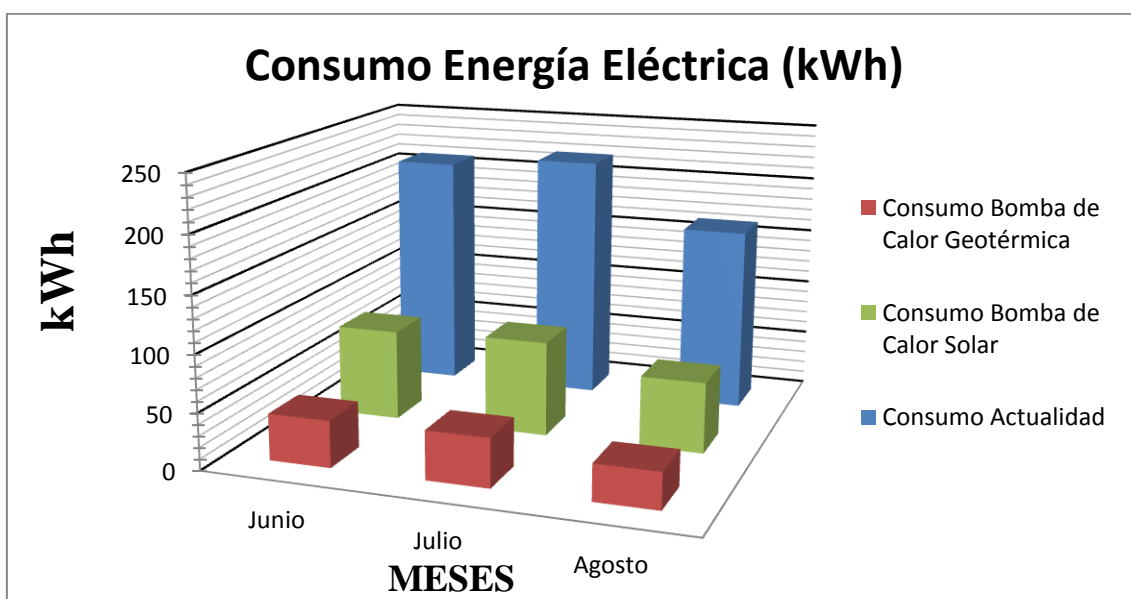
Durante el periodo de calefacción, noviembre-marzo, se producen distintos consumos de energía eléctrica en función de la instalación utilizada como se puede ver en la Gráfica 11.1.



Gráfica 11.1: Consumo energía eléctrica en periodo de calefacción

Como se puede ver el consumo de energía eléctrica decae notablemente con el uso de los sistemas mencionados con respecto al consumo actual de la vivienda. Esto es debido a los distintos y buenos COP que poseen ambas bombas de calor, además en el caso de la bomba de calor solar únicamente entra en funcionamiento cuando el sistema de captación solar no es capaz de abastecer toda la demanda por lo que su consumo energético es incluso inferior.

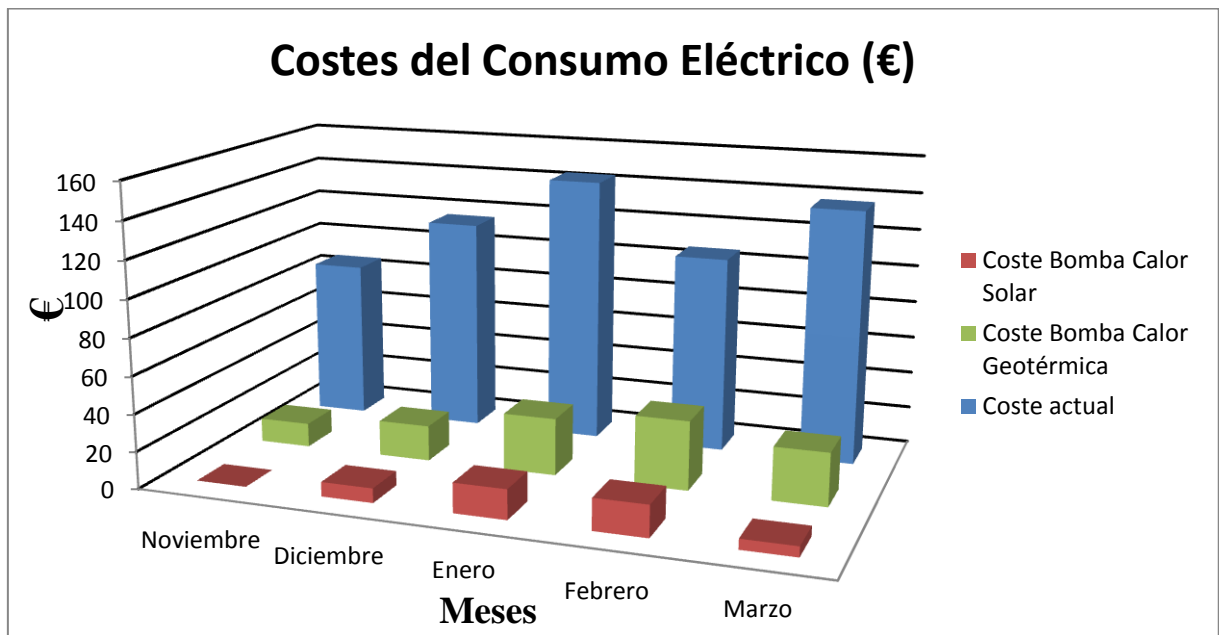
Para el caso de refrigeración los consumos eléctricos que se producen aparecen en la Gráfica 11.2:



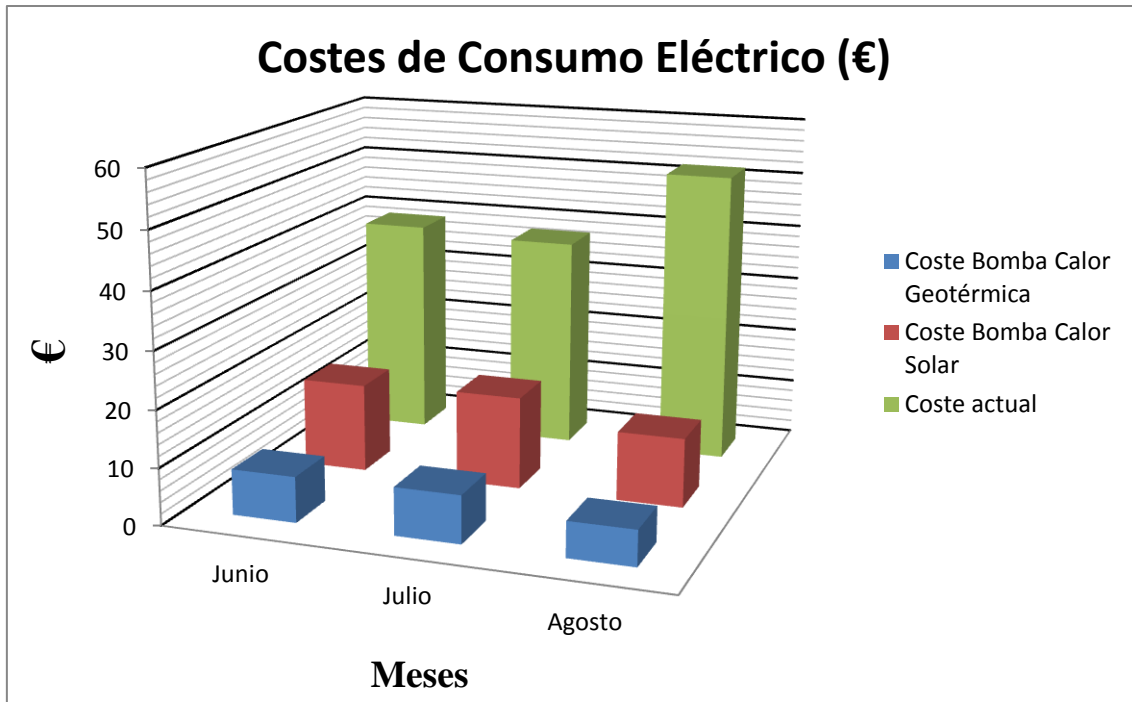
Gráfica 11.2: Consumo energía eléctrica en periodo de refrigeración

En el gráfico de arriba se puede observar al igual que en el caso de calefacción, que también disminuye considerablemente el consumo y es debido, en este caso, al EER de cada una de las bombas de calor. En este caso la bomba de calor geotérmica requiere un menor consumo de energía eléctrica que la bomba de calor solar debido a que su EER es superior y además en este caso esta última debe afrontar toda la demanda solicitada por la vivienda a diferencia de la situación que se da en calefacción, donde únicamente aporta aquella demanda no conseguida por la instalación de los captadores solares.

A continuación en la Gráfica 11.3 y la Gráfica 11.4 se pueden ver los costes del consumo eléctrico, en periodo de calefacción y refrigeración respectivamente, en los que recaen las diferentes instalaciones nombradas acorde con lo señalado en las anteriores gráficas.



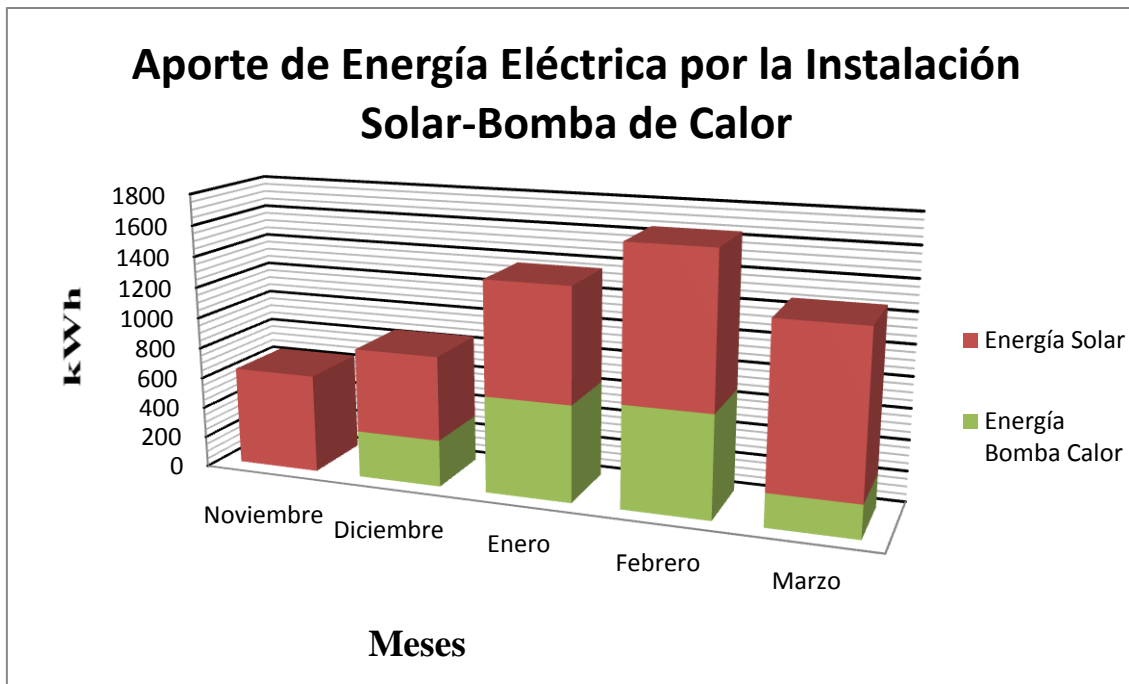
Gráfica 11.3: Costes de consumo eléctrico en periodo de calefacción



Gráfica 11.4: Costes de Consumo eléctrico en periodo de refrigeración

Después de una visión general se pasa a mostrar lo que supone en particular la instalación solar y más tarde comparar de una manera más profunda ambas instalaciones entre sí.

La instalación solar compuesta por los colectores solares y la bomba de calor aire-agua, es capaz de abastecer la demanda solicitada por la vivienda con un consumo muy pequeño de energía eléctrica. Esto se debe sobre todo a que la bomba de calor solo entra en funcionamiento en los meses de invierno en el caso de que la instalación solar no sea capaz de cubrir la demanda, y en verano para dotar de refrigeración a la vivienda. Así pues a continuación se puede observar el consumo actual de la vivienda y los aportes que hacen tanto el sistema solar de baja temperatura como el de la bomba de calor para cubrir esta demanda:

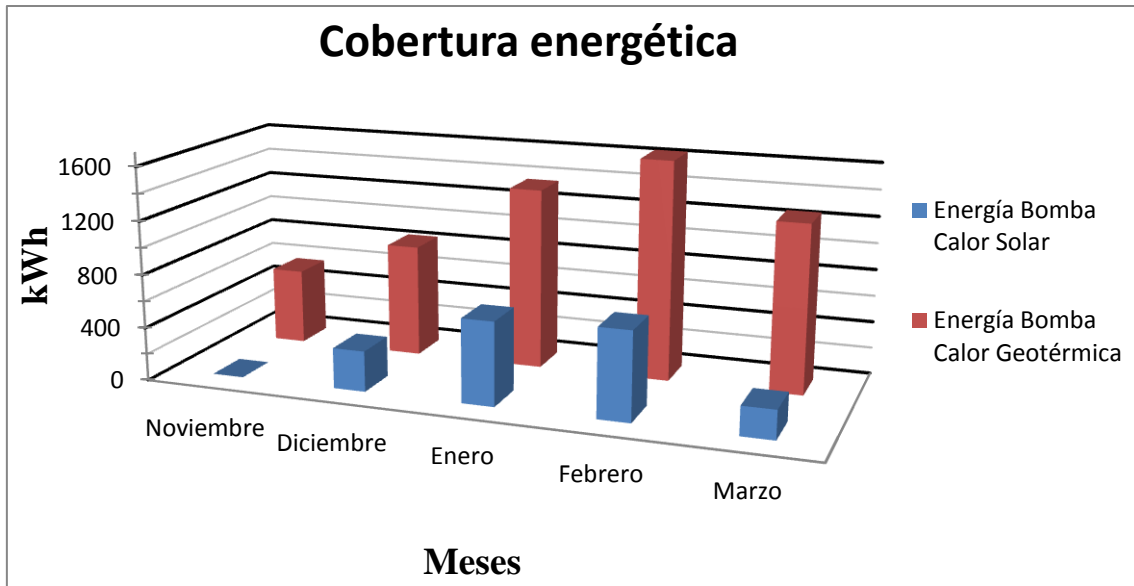


Gráfica 11.5: Aporte de energía térmica por el sistema solar + bomba de calor aire-agua

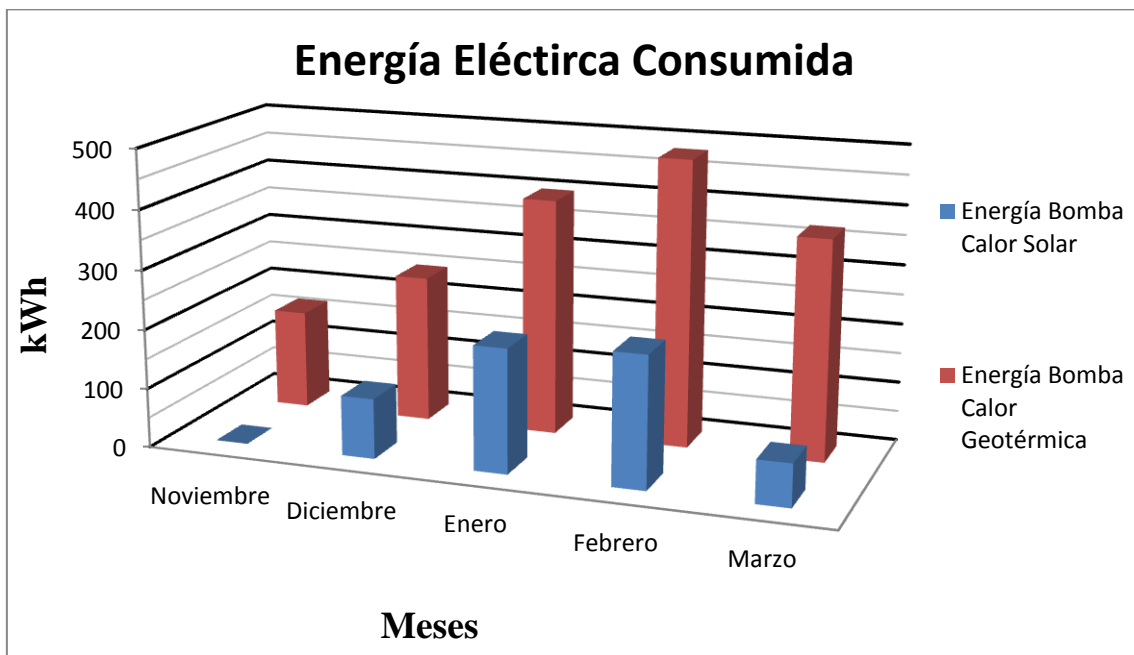
Como se puede apreciar en el mes de noviembre la utilización del sistema solar de baja temperatura es suficiente para satisfacer las necesidades demandadas y la bomba de calor aire-agua no entra en funcionamiento. Sin embargo en los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se ve obligada a entrar en funcionamiento ya que la energía absorbida por parte del sistema de captación es menor y la demanda solicitada es mayor que en el caso anterior.

A continuación se compara de una manera más intensiva los dos sistemas para poder dilucidar cuál de las dos alternativas será la seleccionada. Entre las gráficas que aparecen a continuación se pueden observar en primer lugar aquellas que indican la energía que deben aportar; seguidas de aquellas que muestran la energía consumida, la cual depende de la energía que deben aportar y sus distintos rendimientos (COP, EER); y por último se pueden ver los costes de consumo en los que deriva esta energía consumida.

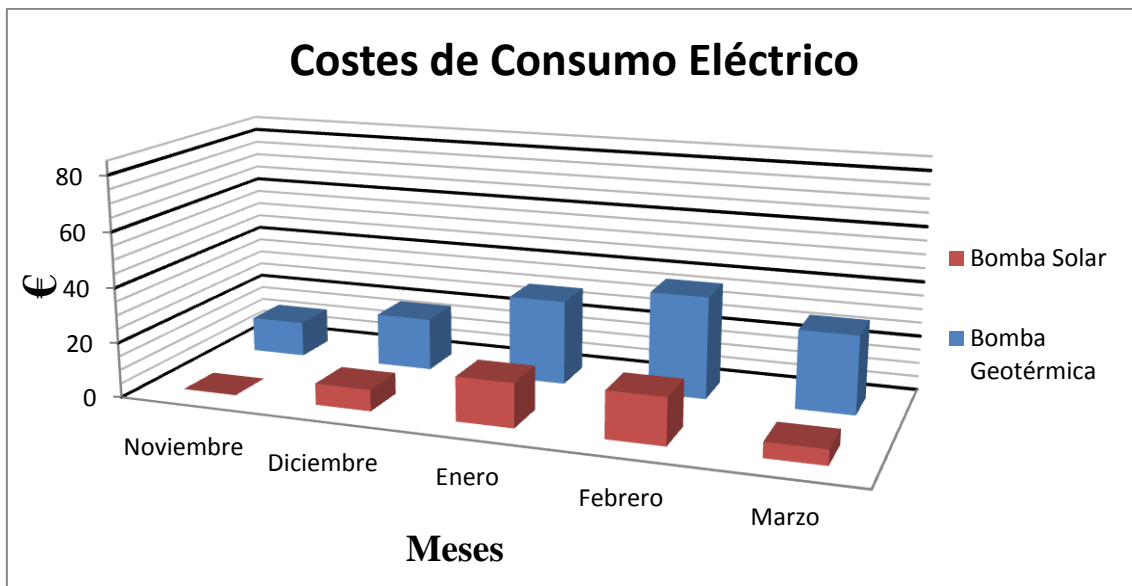
Para comenzar se muestran las siguientes gráficas, las cuales hacen referencia al periodo en el que se utiliza la calefacción:



Gráfica 11.6: Cobertura energética de cada una de las bombas de calor motivo de comparación en régimen de calefacción



Gráfica 11.7: Energía eléctrica consumida por cada una de las bombas de calor motivo de comparación en régimen de calefacción

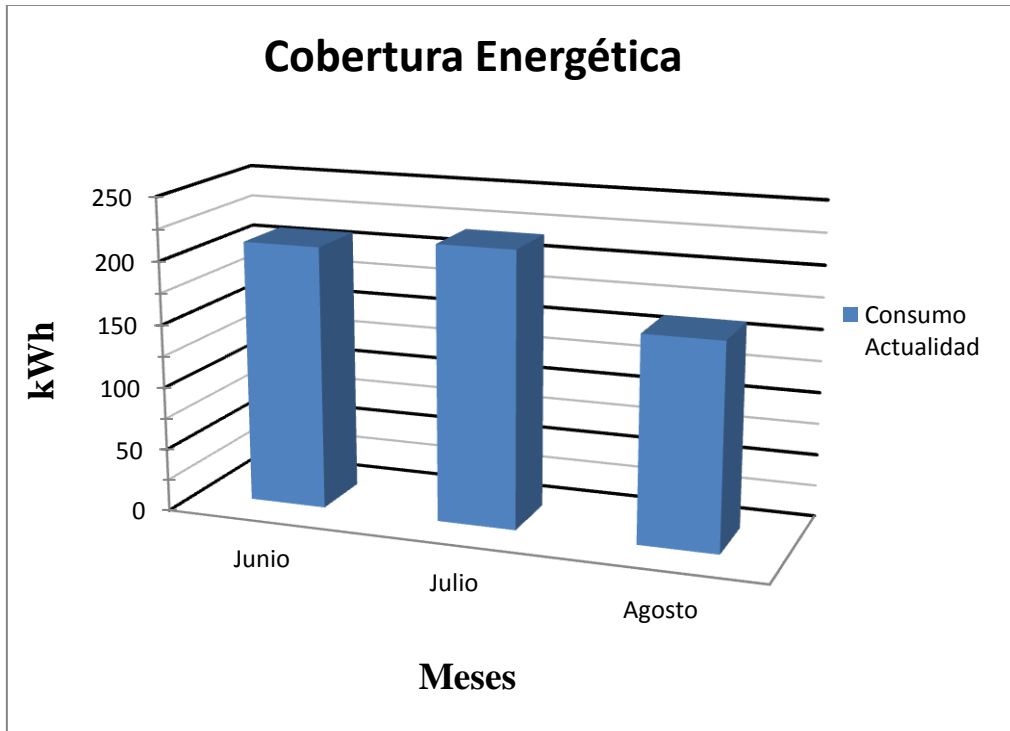


Gráfica 11.8: Costes de consumo eléctrico de cada una de las bombas de calor motivo de comparación en régimen de calefacción

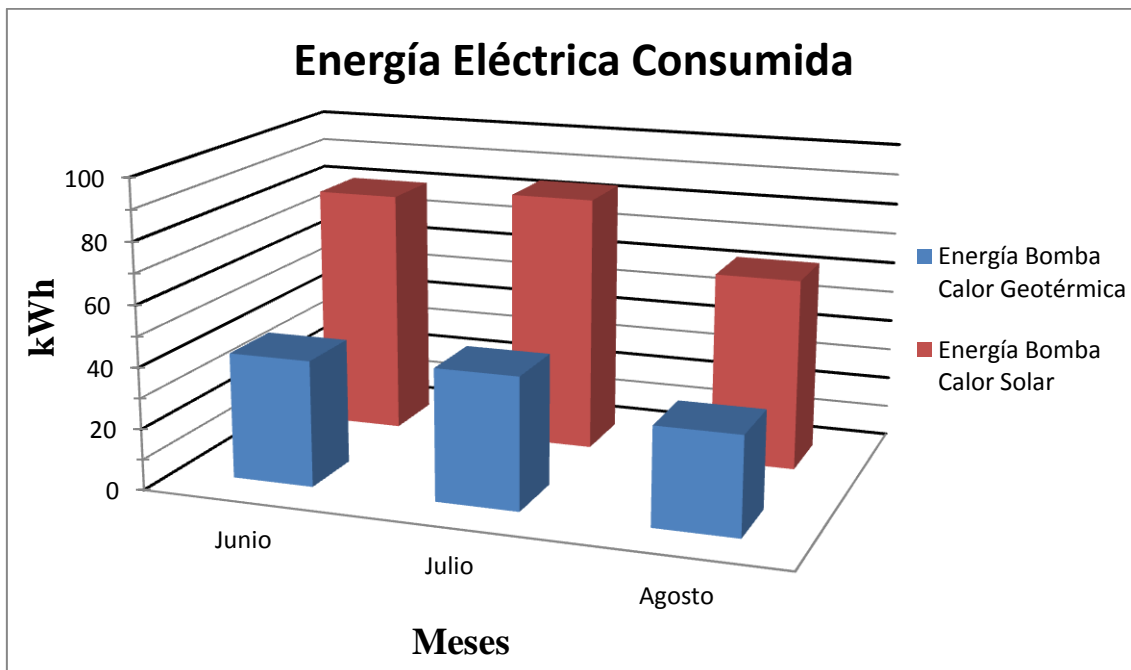
En estos tres gráficos sucesivos se puede ver con mayor claridad lo expuesto al principio y que se resume en un ahorro económico importante. Como se puede ver en ambos sistemas el consumo de energía es muy inferior a aquel que se realizaría si se mantuviera el sistema energético actual de la vivienda. Este ahorro en el consumo eléctrico, supone un coste inferior en la factura de la luz produciéndose un ahorro sustancial.

Como ya se comentó antes la bomba solar tiene un consumo inferior a la geotérmica. Sin embargo esto es únicamente debido a que gran parte del apoyo de calefacción lo proporciona el sistema de captación solar, teniendo que proporcionar dicha bomba de calor una cobertura de sólo un **30 %**. En el caso de la bomba de calor geotérmica esta cobertura es del **100 %**.

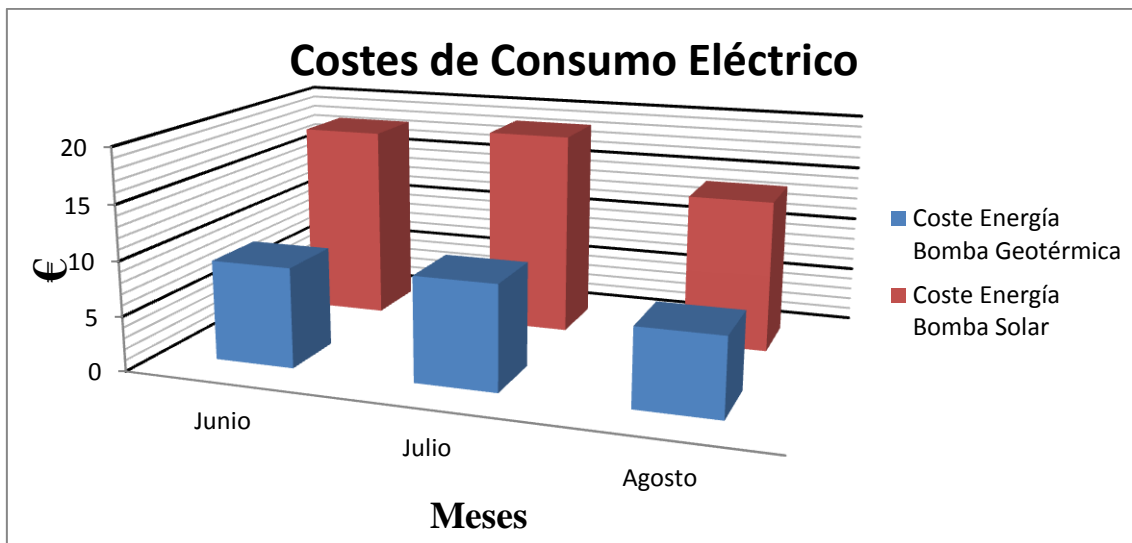
En este caso se muestran las gráficas que tienen relación con el periodo de refrigeración:



Gráfica 11.9: Cobertura energética, siendo en este caso del 100% en ambos casos, que deben de aportar las bombas de calor motivo de comparación en régimen de refrigeración



Gráfica 11.10: Energía eléctrica consumida por las bombas de calor motivo de comparación en régimen de refrigeración



Gráfica 11.11: Costes de consumo eléctrico de cada una de las bombas de calor motivo de comparación en régimen de calefacción

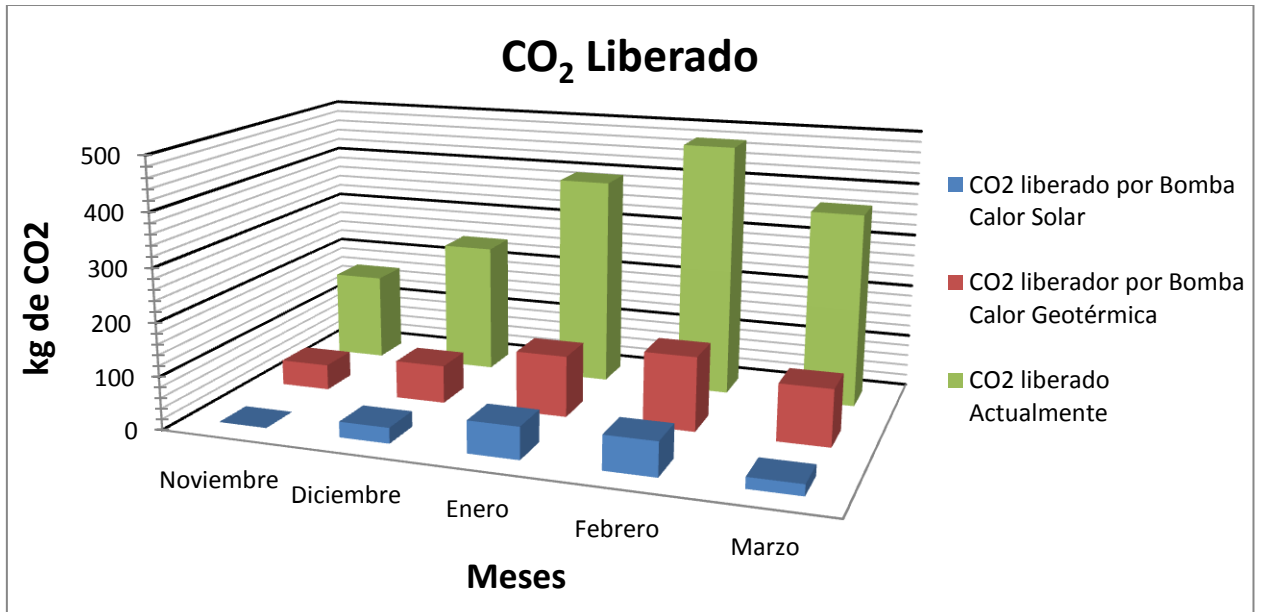
En el caso de refrigeración se parte de que ambas bombas deben satisfacer todas las necesidades de confort de la vivienda por lo que el aporte de energía es el mismo. Sin embargo, el consumo por parte de la bomba geotérmica es bastante inferior a la solar debido a que posee un EER mayor. En cuanto a los costes el ahorro sigue siendo sustancial respecto a las facturas actuales.

Los cálculos realizados para obtener dichas gráficas aparecen en el *Anexo 7*.

11.2 Gráficas de impacto Medioambiental

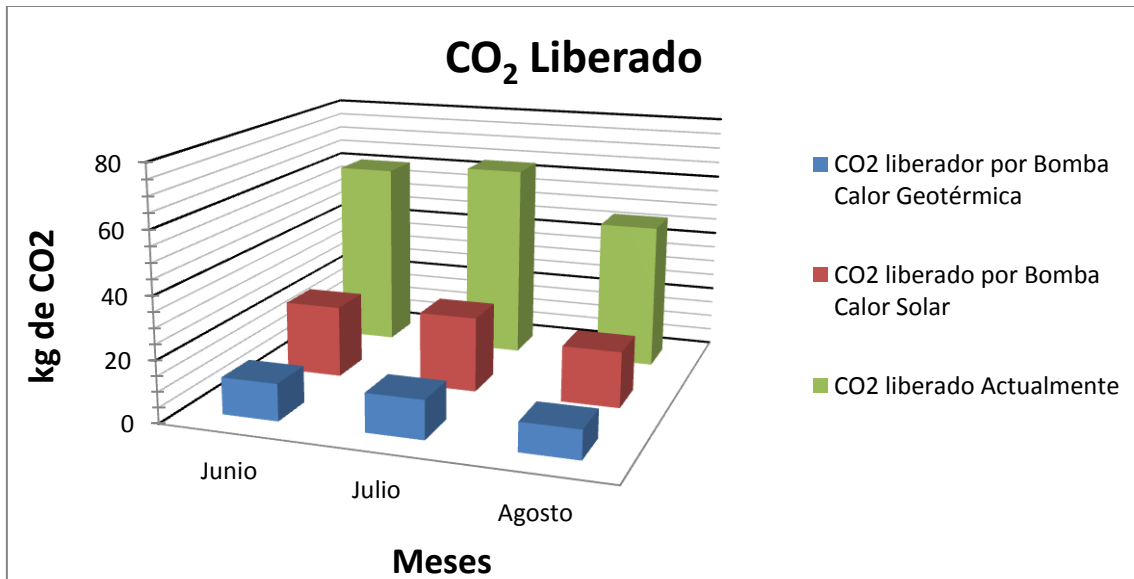
Otro de los objetivos que se ha marcado en este proyecto y que aparece en el *apartado 1* es la disminución en la liberación de CO₂ a la atmósfera. Esta liberación de CO₂ va directamente ligada con el consumo de energía eléctrica y por lo tanto al reducir el consumo de esta se produce también una disminución (igual a la del consumo de energía eléctrica) del CO₂ liberado. A continuación se puede ver la cantidad de este gas liberado a la atmósfera en kg tanto para el periodo de calefacción como para el de refrigeración. Dicho resultado se obtiene al multiplicar por un factor **0,36** el cual aparece en las facturas utilizadas y suponen los kg de CO₂ que se libera a la atmósfera por kWh debido al mix energético que utiliza la compañía contratada por el usuario.

Para el caso de calefacción se obtienen los siguientes datos:



Gráfica 11.12: CO₂ liberado, por meses, durante el periodo de calefacción

Mientras que en el caso del periodo de refrigeración se obtienen los siguientes:



Gráfica 11.13: CO₂ liberado, por meses, durante el periodo de refrigeración

Como se puede ver la reducción de liberación del CO₂ a la atmósfera es grande. En el caso de la bomba de calor geotérmica suponen un ahorro en emisiones del **70%** durante el periodo de calefacción y un **80%** durante el de refrigeración; mientras que para la bomba utilizada en la instalación solar el ahorro oscila entre el **84%** y el **100%** en los meses de invierno y alcanza un ahorro ligeramente superior al **60%** para los meses de verano. El ahorro superior en el caso de la bomba de calor utilizada con la instalación solar se debe a que esta última también aporta gran cantidad de energía la cual ya no tiene que ser proporcionada por la bomba de calor. Estas emisiones se ven reducidas ya que el consumo de energía eléctrica es menor y por ello dicha reducción es la misma que se da para el caso de la energía eléctrica.

Los cálculos llevados a cabo para mostrar estas gráficas y datos aparecen en el **Anexo 8**.

11.3 Inversión y Rentabilidad

En la inversión se tienen en cuenta únicamente los costes de los equipos que constituyen cada uno de los sistemas y se prescinde del coste de la valvulería, ya que para ambos casos es prácticamente igual, debido a que los costes de esta frente al de los equipos es muy inferior.

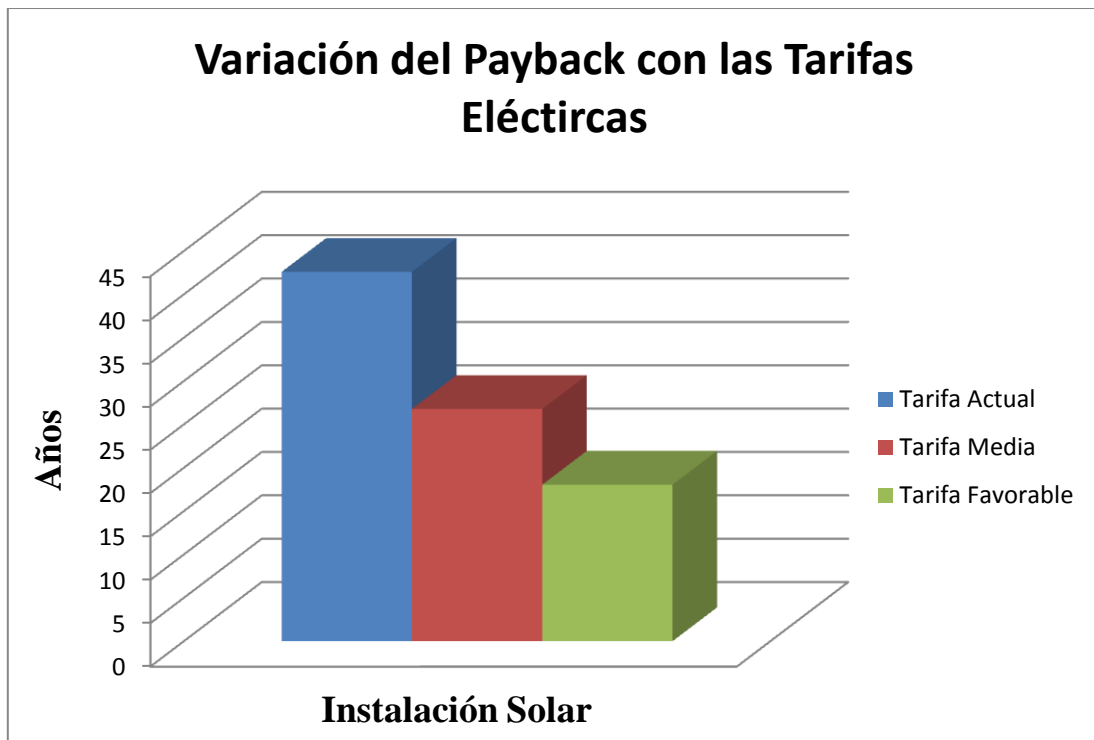
En el caso de la instalación solar supone una *inversión* de **19.681 €**, produciéndose con el ahorro que esta supone, **462,05 €**, un *payback* de **42,6 años** y un *TIR* de **-0,0415783**.

Para la instalación geotérmica se realiza *una inversión* de **11.829,69 €**, produciéndose con el ahorro que esta supone, **408,01 €**, un *payback* de **29 años** y un *TIR* de **0,0068730**.

Como se puede ver la rentabilidad es baja, sobre todo en el caso de la instalación solar donde el *TIR* es negativo. Esto se debe a que los consumos de energía eléctrica en la actualidad son mínimos aprovechando al máximo las ventajas que posee la tarifa eléctrica contratada y mostrada en el *apartado 3.2*.

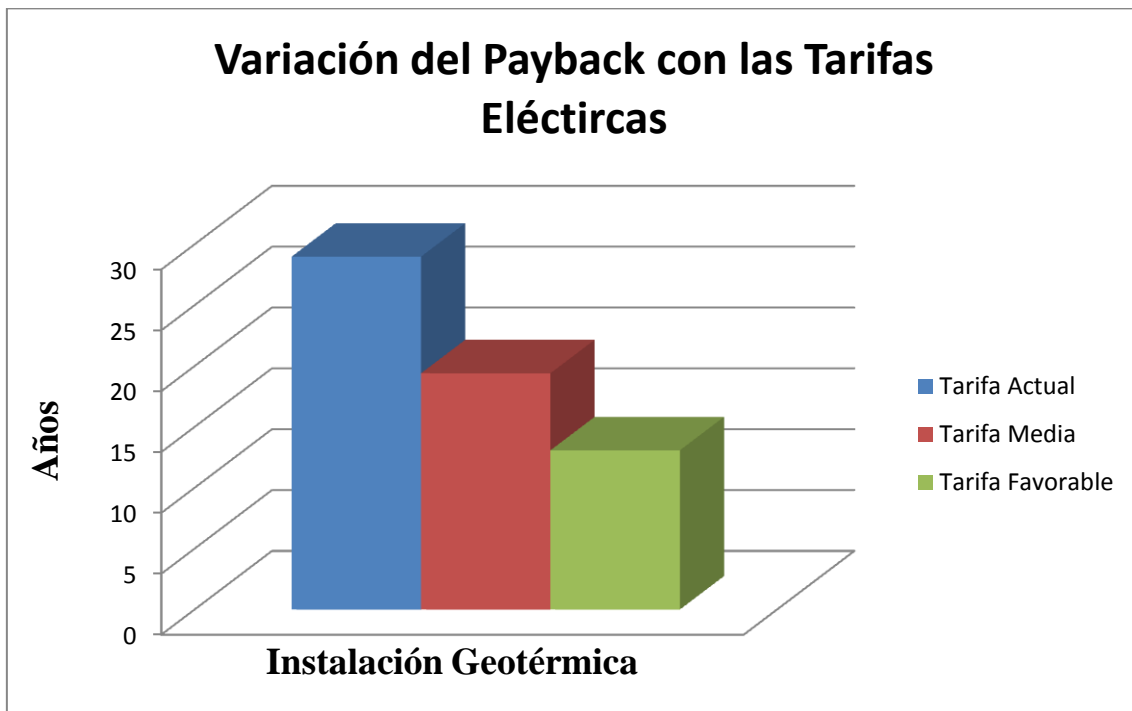
A continuación se va a mostrar el *Payback* que mostraría cada una de ellas en el caso de que el precio por kWh fuera distinto. Para ello se establece la tarifa actual utilizada, *Tarifa Actual*; una segunda con un precio de **0,123499 €/kWh**, obtenida mediante la realización de la media de la actual tarifa, *Tarifa Media*; y una tercera en la que el precio sería de **0,183228 €/kWh**, precio que tiene la actual tarifa en horas punta, *Tarifa Favorable*.

Para el caso de la instalación solar se obtienen los siguientes resultados:



Gráfica 101.14: Variación del Paybak en función de las tarifas eléctricas

Mientras que para el caso de la instalación geotérmica se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 111.15: Variación del Paybak en función de las tarifas eléctricas

Como se puede ver en las dos anteriores gráficas el coste del kWh influye enormemente en el payback de las instalaciones. En ambos casos el tiempo de recuperación de la inversión inicial se ve reducido al menos a la mitad en el caso de que la tarifa contratada tuviera un coste de **0,183228 €/kWh** (Tarifa Favorable) y algo menos de la mitad en el caso de que el coste fuera de **0,123499 €/kWh** (Tarifa Media).

El cálculo de dichos parámetros se encuentra en el **Anexo 9**.

11.4 Selección del Sistema de Climatización y del Sistema de Preparación de A.C.S.

Como se puede observar en el apartado anterior queda claro que la instalación geotérmica supone una buena inversión debido al payback y a la rentabilidad que obtiene frente al sistema solar de baja temperatura, además sus emisiones de CO₂ son muy parecidas y en ambos casos supone una gran ventaja medioambiental. Así pues se debe indicar que la opción seleccionada para satisfacer las diferentes necesidades de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria es **la instalación geotérmica**.

12. Conclusiones y Calificación Energética

12.1 Conclusiones Generales

Después de haber realizado la totalidad del proyecto y ver las diferentes instalaciones tanto de producción de la energía necesaria, como es el caso de la solar de baja temperatura y la geotérmica, como de las que dotan a la vivienda de confort siendo en este caso la utilización de Fancoils o suelo radiante/refrescante se puede llegar a una serie de conclusiones como las que se muestran a continuación.

- En primer lugar y como se ha comentado en el *apartado 11* la opción elegida para implantarla ha sido la instalación del sistema de energía geotérmica, la cual se ha demostrado que supone una alternativa tanto viable técnicamente como económicamente.
- El hecho de que esta opción haya sido elegida muestra que la energía geotérmica tiene un gran potencial en lo que a usos domésticos se refiere. Así pues su implantación durante los próximos años puede aumentar considerablemente, puesto que no supone un desembolso económico muy elevado teniendo en cuenta el tiempo de vida útil que poseen los elementos que la componen, en especial la sonda geotérmica que una vez introducida apenas requiere mantenimiento y posee una vida útil superior en algunos casos a los 50 años dependiendo del material que sea.
- La opción de los colectores solares junto con la bomba de calor aire-agua también supone un ahorro en cuanto a la factura, sin embargo dicho ahorro no es capaz de amortizar la inversión realizada, al menos en este caso. A diferencia de la instalación geotérmica los equipos utilizados en esta tienen un tiempo de vida útil menor (20-25 años), con la que no pueden amortizar esa inversión inicial.
- Las dos alternativas propuestas suponen una notable mejora medioambiental al reducir las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Ello supone dar un paso hacia delante a la hora de actuar frente al cambio climático y mostrar cómo se puede formar parte, también, de una manera activa en esta iniciativa.

- En cuanto al suelo radiante/refrescante se puede indicar que para una vivienda de nueva construcción es el sistema idóneo para climatizarla ya que trabaja a bajas temperaturas y se puede valer de las energías renovables para dotarla del confort requerido. Sin embargo en una vivienda ya construida los costes en los que deriva son superiores a los de otros sistemas de climatización, haciéndolo menos competitivo frente a ellos.
- La utilización de los Fancoils en viviendas ya construidas es una alternativa francamente atractiva debido a sus costes y a la sensación de confort que pueden proporcionar siendo muy parecida a la que puede ofrecer el suelo radiante/refrescante.

12.2 Calificación Energética Obtenida

Una vez indicadas las conclusiones más generales obtenidas del presente proyecto se van a indicar si se han cumplido los objetivos que se marcaron en el *apartado 1* de esta memoria.

Así pues se puede indicar que el primer objetivo que se puso al comienzo de este proyecto se ha cumplido ya que el consumo eléctrico se ha reducido notablemente en las épocas mencionadas, llegando hasta ahorros que superan el **70%** en el caso de calefacción y ahorros de más del **80%** en el periodo de refrigeración.

Esta disminución del consumo de energía eléctrica tiene consecuencias muy favorables en cuanto al ahorro de emisiones de CO₂ a la atmósfera y que como se indico en el *punto 11.3* de esta memoria conllevan datos similares a los de ahorro de energía como no podía ser de otro modo. Por lo que únicamente queda comprobar si la instalación de dichos sistemas ha supuesto un cambio en la calificación energética del edificio, y para ello se muestran tanto: la Figura 12.1, perteneciente a la opción seleccionada que es la instalación geotérmica; y en la Figura 12.2, donde se puede ver la calificación obtenida en el caso de que se hubiera elegido la opción de la instalación solar de baja temperatura.

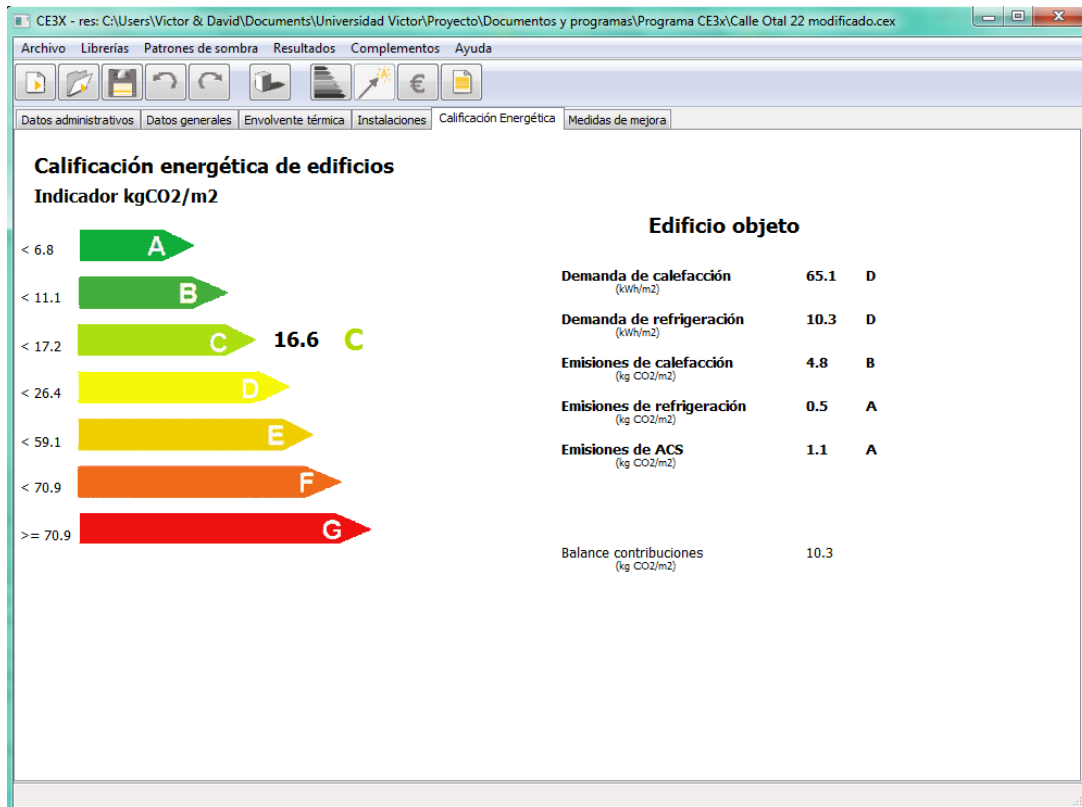


Figura 12.1: Calificación energética de la vivienda una vez acometida la instalación geotérmica

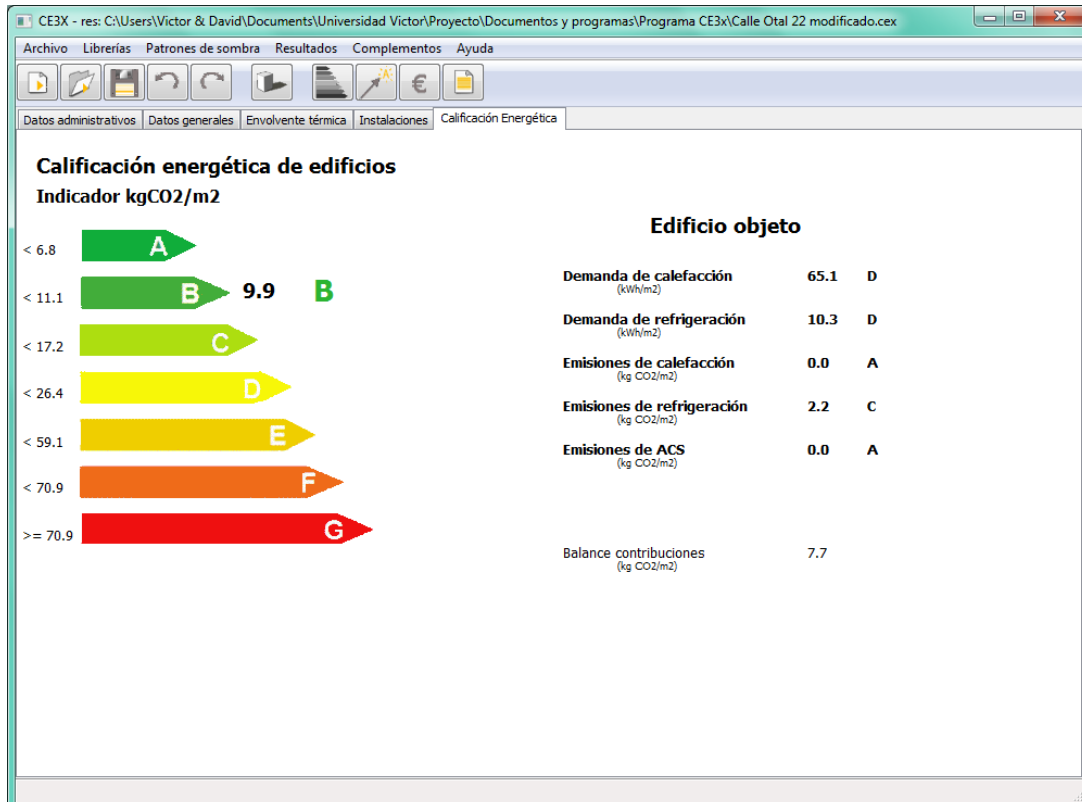


Tabla 12.2: Calificación energética de la vivienda en el caso de haber elegido la opción de la instalación solar de baja temperatura

Como se puede ver implantando cualquiera de las dos instalaciones estudiadas se mejoraría la calificación de la vivienda, incluso en el caso de la solar de baja temperatura posee mejor calificación debido a que para abastecer de A.C.S únicamente se vale de los captadores solares. Dichas mejoras no reside en la disminución de la demanda de calefacción y refrigeración, ya que la envolvente térmica posee las mismas características debido a que no se han acometido ningún tipo de mejoras en ella. Por ello la mejora de estas calificaciones se deben a la sustitución de las instalaciones que dotan de confort y agua caliente sanitaria a la vivienda, pasando a consumir menor cantidad de energía eléctrica y por lo tanto disminuyendo su CO₂ liberado a la atmósfera.

13. Referencias Bibliográficas, Bibliografía y Software utilizado

Referencias:

- [1]. Real Decreto 235/2013 de 5 de abril
- [2]. Norma Básica de la edificación “NBE-CT-79” sobre Condiciones Térmicas de los Edificios
- [3]. Documento Básico HE Ahorro de la Energía abril 2009
- [4]. Manual de fundamentos técnicos de calificación energética de edificios existentes CE3X
- [5]. Guía técnica: Diseño de los sistemas de bomba de calor geotérmica, por el IDAE
- [6]. RITE 2007. Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios
- [7]. Guía de la Energía Geotérmica, por la Comunidad de Madrid
- [8]. Mapa Tecnológico: Calor y Frío Renovables, Área Tecnológica: Geotermia, por IDAE
- [9]. Properties of Secondary Working Fluids for Indirect Systems, Ake Melindre
- [10]. Guía Técnica: Agua caliente sanitaria central, por el IDAE
- [11]. Proyecto de la vivienda, facilitado por el Ayuntamiento de Híjar
- [12]. Apuntes de Ingeniería Fluidomecánica. Jorge Á. Barroso Estébanez y Jesús J. Martín Yagüe. Editorial PUZ 1ª edición, 2009.

Bibliografía:

1. www.response-test.de
2. www.construible.es
3. www.idae.es
4. www.viessman.es
5. www.grupociat.es
6. www.buderus.es

7. www.alb.es
8. www.salvadorescoda.com
9. Integración de energías renovables en edificios. José Alfonso Aranda Usón y Abel Ortego Bielsa. Editorial PUZ
10. PFC. Energía geotérmica y solar aplicadas a la climatización y producción de A.C.S en un edificio de viviendas en Zaragoza como sistema de eficiencia energética. Jorge E. Bergua Díez. Año 2010.
11. PFC. Proyecto de climatización del Centro de Estudios Medioambientales y residencia de estudiantes ITACA Zaragoza. Carlos Mayor Turón. Año 2012.
12. Climatización de la ampliación de la Casa de Cultura de Andorra (Teruel). Francisco Meseguer Laborda. Año 2013.

Software Utilizado

1. ***Programa CE3X***, por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)
2. ***Programa Geo2 v1.0***, por la empresa CIAT
3. ***Programas Técnicos Sedical S.A – Módulo Bombas***, de la empresa SEDICAL
4. ***Microsoft Office Excel 2007***