



Escola Politècnica Superior
d'Edificació de Barcelona

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ARQUITECTURA TÉCNICA
PROYECTO FINAL DE CARRERA



Comparativa de eficiencia energética y amortización en el edificio de Can Marcet de Sabadell entre distintas instalaciones de energías renovables

Projectista: Juan Francisco Jiménez Cañabate
Directora: Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra
Convocatoria: Marzo de 2009

Índice

1. Introducción.....	3
1.1. Contexto general.....	3
1.2. Objeto del proyecto.....	3
2. Características del edificio.....	4
2.1. Tabla de sectorización del consumo energético destinado a climatización.....	4
2.2. Tabla del consumo energético para la climatización de las dependencias del servicio de mantenimiento y obras públicas en el año 2004 con precios actuales del kWh.....	4
2.3. Imágenes del edificio.....	5
3. Propuesta inicial del Ayuntamiento de Sabadell: Sustitución de las bombas de calor aerotérmicas.....	5
3.1. ¿Qué es la aerotermia?.....	5
3.1.1. Sistema de captación y bomba de calor aire-agua.....	5
3.2. Amortización.....	6
3.3. Integración arquitectónica.....	6
3.4. Ventajas.....	6
3.5. Inconvenientes.....	6
4. Eficiencia energética.....	7
4.1. ¿El porqué de la eficiencia?.....	7
4.2. La calefacción, principal destino de la energía consumida en los hogares.....	7
5. Las energías renovables en edificios.....	8
5.1. Geotermia.....	8
5.2. Fotovoltaica.....	8
5.3. Solar térmica.....	8
5.4. Biomasa.....	8
6. Propuesta 1: Instalación de energía geotérmica.....	9
6.1. Principios de la geotermia solar.....	9
6.2. Evolución. Referencia mundial.....	10
6.3. Equipo y funcionamiento.....	11
6.3.1. Circuito de intercambio geotérmico con la Tierra.....	11
6.3.1.1. Sistemas de captación de la energía geotérmica.....	11
6.3.1.2. Descripción y diseño del sistema de captación.....	12
6.4. La bomba de calor.....	14
6.4.1. Refrigerantes.....	14
6.4.2. Elementos que componen la bomba de calor.....	14
6.4.3. Funcionamiento de la bomba de calor.....	15
6.4.4. El rendimiento de una bomba de calor o Coeficiente de eficiencia energética (COP).....	16
6.5. Otros elementos que componen la instalación.....	16
6.6. Diseño de la bomba de calor y el depósito de inercia.....	17
6.6.1. Bomba de calor.....	17
6.6.2. Depósito de inercia.....	17
6.7. Descripción de los equipos.....	17
6.8. Integración arquitectónica.....	17
6.9. Ventajas.....	17
6.10. Inconvenientes.....	18
6.11. Presupuesto.....	18
6.12. Amortización.....	18
6.13. Subvenciones.....	18
6.14. Mantenimiento.....	18
6.15. Imágenes de una sala de máquinas de una instalación de energía geotérmica.....	19
7. Propuesta 2: Instalación de energía geotérmica complementada con energía solar fotovoltaica.....	20
7.1. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?.....	20
7.2. Antecedentes.....	20
7.3. Normativa considerada.....	21
7.4. Tipos de instalaciones.....	21
7.5. Funcionamiento de la instalación.....	22
7.6. Elementos que componen la instalación.....	22
7.7. Dimensionado de la instalación.....	23
7.8. Integración arquitectónica.....	25
7.9. Impacto ambiental.....	25
7.10. Presupuesto.....	25
7.11. Amortización.....	25
7.12. Inversión subvencionada.....	26
7.13. Mantenimiento.....	26
8. Propuesta 3: Instalación de energía solar térmica.....	27
8.1. ¿Qué es la energía solar térmica?.....	27
8.2. Antecedentes.....	27
8.3. Normativa considerada.....	27
8.4. Tipos de sistemas.....	28
8.5. Elementos que componen la instalación.....	28
8.6. La máquina de absorción.....	30
8.7. Funcionamiento de la instalación.....	31
8.8. Integración arquitectónica.....	31
8.9. Dimensionado de la instalación.....	31
8.10. Mantenimiento.....	34
8.11. Presupuesto.....	36
8.12. Amortización.....	36
8.13. Inversión subvencionada.....	36
8.14. Ventajas.....	36
8.15. Inconvenientes.....	36
9. Comparativa de eficiencia energética y amortización entre las distintas propuestas.....	37
9.1. Impacto medioambiental.....	38
10. Conclusión.....	38

11. Bibliografía.....	39
12. Agradecimientos.....	39
ANEXO 1	
Planos del estado actual del edificio.....	41
ANEXO 2	
Planos y esquema de principio de la instalación de energía geotérmica.....	47
ANEXO 3	
Fichas técnicas de elementos de la instalación geotérmica.....	53
ANEXO 4	
Fichas técnicas de elementos de la instalación fotovoltaica.....	59
ANEXO 5	
Fichas técnicas de elementos de la instalación solar térmica.....	63

1. Introducción

1.1. Contexto general

Desde la Concejalía de Medio Ambiente y Sostenibilidad del Ayuntamiento de Sabadell se está desarrollando, desde 1999, un plan de mejora de la eficiencia energética en la propia ciudad de Sabadell. Este plan tiene por objetivo mejorar la eficiencia energética en diferentes sectores de actividad del municipio, promover el uso de las energías renovables y disminuir los impactos ambientales derivados del consumo energético. Éste se ha concretado en diferentes actuaciones enmarcadas en los ámbitos de la educación y sensibilización, asesoramiento energético a nuevos proyectos, creación de mecanismos de concesión de subvenciones y bonificaciones, y redacción de la Ordenanza Municipal sobre la Incorporación de Sistemas de Captación de Energía Solar para Usos Térmicos en las Edificaciones.

Habiendo realizado importantes actuaciones dirigidas en diversos sectores de la ciudad, se evidenció la necesidad de predicar en el ejemplo por parte del Ayuntamiento de Sabadell y realizar su propio Plan de Eficiencia Energética en los edificios y equipamientos municipales (PE3) para garantizar el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de efecto invernadero a nivel municipal.

El proceso de desarrollo del PE3 constó de 3 fases:

- Fase Preliminar: Diagnóstico inicial y definición de líneas de actuación.
- Fase 1: Desarrollo de estudios específicos (auditorías energéticas en edificios) e implantación de actuaciones prioritarias e innovadoras.
- Fase 2: Realización del plan y priorización de actuaciones.

La fase preliminar permitió evaluar las tendencias de consumo energético global e identificar las tipologías de equipamientos que requerían una valoración detallada. Este fue el caso de Can Marcet, edificio el cual destacaba muy claramente por encima del resto de edificios administrativos municipales de la misma tipología de uso, tanto en el aspecto de emisiones de CO₂, como en su elevado consumo de energía. Esta evidencia ha justificado la necesidad del desarrollo de un estudio específico, que permita identificar las oportunidades para mejorar la eficiencia energética del edificio y estudie la viabilidad de implantar diferentes actuaciones innovadoras que aseguren la reducción del consumo, mejoren la eficiencia y consideren la incorporación de energías renovables en los equipamientos municipales.

Así pues, después de desarrollar la fase preliminar y los estudios específicos en forma de auditoría energética en el edificio de Can Marcet, se ha evidenciado la necesidad de intervenir en el sector de la climatización de las dependencias del servicio de mantenimiento y obras públicas del ayuntamiento, ubicadas en un espacio de oficinas del edificio en estudio. Este espacio está climatizado mediante un sistema de calefacción/refrigeración con dos bombas de calor aerotérmicas, de unos 80 kW de potencia, las cuales funcionan con energía eléctrica, dato importante si consideramos que el 71% del total de emisiones del edificio son debidas al consumo de electricidad. Todo esto hace que una intervención en este departamento resulte esencial.

1.2. Objeto del proyecto

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio entre distintas energías renovables para comprobar cual de ellas sería la energía económicamente y técnicamente más viable para la climatización del sector de oficinas mencionado del edificio de Can Marcet de Sabadell. Este estudio hablará del funcionamiento de cada instalación y las características de cada tipo de energía, así como su eficiencia energética, el presupuesto que se requiere o la amortización de cada una. La idea es transformar Can Marcet en un edificio de oficinas de referencia en materia energética.

Para conseguir esto, primeramente, describiremos la instalación actual, que como hemos dicho se trata de una instalación que funciona con bombas de calor aerotérmicas. Seguidamente realizaremos diferentes propuestas. La primera será la de una instalación de energía geotérmica, la segunda será esta misma instalación complementada con energía fotovoltaica, y la tercera consistirá en una de energía solar térmica. Una vez realizado este estudio, realizaremos una comparativa de eficiencia energética y amortización entre las distintas energías, para así comprobar cual es la más rentable.

Además, con este proyecto, conseguimos demostrar que utilizando una fuente de energía renovable es posible reducir la factura eléctrica o del gas, utilizando un tipo de energía limpia e ilimitada, que reduce considerablemente la producción de gases contaminantes como el CO₂, ya que quien produce la energía de forma alternativa es nuestra instalación, con lo que ayudamos a mejorar la sostenibilidad medioambiental.

2. Características del edificio

El edificio de Can Marcet, de uso administrativo, está ubicado en la Calle Pau Claris, nº 100 del distrito 5 de Sabadell. Este edificio es la dependencia municipal de mayor superficie del Ayuntamiento de Sabadell con 16.698,2 m². A tal efecto también es la dependencia municipal con más consumo energético, como consecuencia de acoger numerosas dependencias municipales, con un elevado número de personal asociado. Entre las dependencias destacan la sede de la policía municipal, el taller de reparación de vehículos municipales y los servicios de mantenimiento y obras públicas del ayuntamiento, además de otras dependencias municipales.

El edificio fue construido durante el primer tercio del siglo XX con la función de ser utilizado como fábrica textil. Por esta razón, no tiene una tipología constructiva adecuada a sus diversos usos actuales, ya que no estaba previsto climatizar los espacios para su uso original. A partir de los años 80 se fueron realizando distintas actuaciones de reforma para adecuarlo a los nuevos usos, pero en pocos casos se tuvieron en cuenta las necesidades de climatización.



Plano de situación del edificio de Can Marcet

2.1. Tabla de sectorización del consumo energético destinado a climatización

	Combustible	Sectores	Energía	
			Potencia	Consumo
ACS para las duchas de la policía	Gas	Policía		
Calefacción con caldera	Gas	Taller, policía y parte de las dependencias centrales		44.944 m ³
Calefacción/frío con sistema de dos bombas de calor	Electricidad	Dependencias del servicio de mantenimiento y obras públicas	Aprox. 80 kW	
Climatización con diferentes bombas de calor y splits autónomos	Electricidad	Otras dependencias		Pequeño volumen

2.2. Tabla del consumo energético para la climatización de las dependencias del servicio de mantenimiento y obras públicas en el año 2004 con precios actuales

	Dependencias del servicio de mantenimiento y obras públicas (Edificio de Can Marcet)		
	Año 2004	Precio kWh año 2009	
	kWh	Precio kWh	Total
Electricidad	61.124	0,110317 €	6.743 €
Gas Natural		0,059094 €	3.612 €

En la tabla se observa como el gasto energético anual del año 2004 utilizando bombas de calor aerotérmicas, asciende a la cantidad de 22.238 € y si hablásemos de gas en vez de electricidad, serían 11.912 €. El global del consumo es bastante significativo como para justificar el desarrollo de un estudio sobre la viabilidad de medidas que permitan mejorar la eficiencia del consumo de este recurso.

Como hemos dicho, la antigua instalación consiste en dos bombas de calor aerotérmicas de unos 40 kW cada una. Estas bombas tienen un coeficiente de eficiencia energética (COP) de 2, cosa que quiere decir que el 50% de la energía calorífica la extraen del aire, por lo que con un sistema que tan sólo utilizase electricidad para climatizar las dependencias de obras públicas y mantenimiento, el consumo real de electricidad sería el doble, es decir, **13.486 €**.

Dado el mal funcionamiento que están dando estas bombas de calor es necesaria su sustitución por unas nuevas o por otra instalación de climatización de otro tipo. Por esto, a continuación describiremos la instalación existente y explicaremos en que consiste la propuesta inicial realizada por el Ayuntamiento. Seguidamente hablaremos de las posibilidades que hay para climatizar este espacio, por lo que haremos tres propuestas distintas, como hemos explicado en el apartado del objetivo del proyecto.

2.3 Imágenes del edificio



Fachada principal



Entrada del taller de reparación de vehículos municipales

3. Propuesta inicial del Ayuntamiento de Sabadell: Sustitución de las bombas de calor aerotérmicas

3.1. ¿Qué es la aerotermia?

La aerotermia no es más que un nombre que se le ha puesto al uso de las bombas de calor aire-aire o aire-agua que se utilizan para climatizar un espacio. En nuestro caso, las antiguas bombas de calor son aire-agua, cosa que explicaremos a continuación en qué consiste.

Incluso en pleno invierno, el aire contiene calorías. Esto significa que se pueden extraer calorías hasta en las condiciones más desfavorables de temperatura. Por tanto, tenemos a nuestra disposición calorías «gratuitas» incluso en los inviernos más crudos.

Con la aerotermia, se puede captar esta energía gratuita y utilizarla para calentar una vivienda. Para ello, normalmente, se utiliza un sistema de aparatos partidos, los denominados "Split System". Los sistemas split están formados por dos unidades, una externa y otra interna, enlazadas entre sí a través de tubos de cobre. La unidad externa se encarga de captar la energía calorífica del aire, y la unidad interior que se la traspa a un circuito de agua, esta unidad interior se llama bomba de calor. Del transporte de estas calorías se encarga un fluido refrigerante que circula entre ambas unidades y que está impulsado por un compresor. Únicamente hay que pagar por la energía que consumen este compresor, parte de la bomba de calor, y el ventilador exterior. Según sea la temperatura exterior, esta energía sólo supone entre un 30% y un 50% de la potencia de calefacción propagada a la vivienda, lo que equivale a decir que, entre un 50% y un 70% de la energía utilizada para calentar es gratuita, ya que sale de esa enorme reserva que es el aire exterior.

3.1.1. Sistema de captación y bomba de calor aire-agua

Antes de describir nada, cabe decir que el sistema de funcionamiento de una bomba de calor aerotérmica y una geotérmica es el mismo, la única diferencia que existe es el sistema de captación. Por esto, en este apartado que describe una propuesta ya realizada, definiremos brevemente lo que es una bomba de calor, y en la propuesta de la instalación de energía geotérmica explicaremos al detalle todas las características de una bomba de calor.

La bomba de calor es una máquina termodinámica que está formada por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador) por el cual circula un fluido refrigerante. Dicho circuito permite transferir energía en forma de calor de un foco con más temperatura a otro que esté a una temperatura más baja. La particularidad de este sistema radica en su válvula inversora de ciclo, la cual puede invertir el sentido del flujo de refrigeración transformando el condensador en evaporador y viceversa, pudiendo conseguir así tanto frío en verano como calor en invierno.

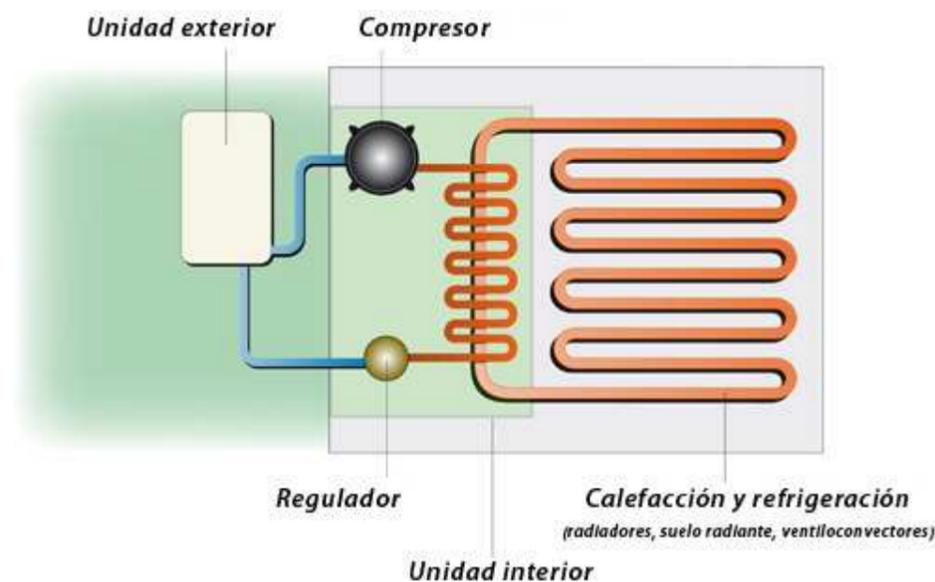
El uso de este tipo de instalaciones es frecuente, ya que la fuente fría de donde se toma el calor es inagotable y su instalación es muy sencilla. En invierno se toma calor del

aire exterior que, junto al trabajo que realiza el compresor, hace que el refrigerante que circula por la bomba de calor cambie de fase.

Como hemos dicho anteriormente, normalmente, se utiliza un sistema de aparatos partidos, los denominados "Split System", formados por dos unidades, una externa y otra interna, enlazadas entre sí. En invierno, la unidad externa hace de evaporador y la interna de condensador, y en verano, al revés.

Tradicionalmente se ha empleado aire exterior como foco frío de la bomba de calor porque su disponibilidad es universal, pero el funcionamiento de la instalación está supeditado a las condiciones climatológicas, disminuyendo el coeficiente de eficiencia energética (COP) que facilita la máquina a medida que lo hace la temperatura exterior. Cuando la superficie del evaporador, es decir, la unidad externa, tiene una temperatura inferior a 0°C e inferior a la del rocío del aire, la formación de escarcha es inevitable. Este efecto reduce el COP como ya se mencionó, y precisamente por este motivo, al ser una fuente de energía variable, pese a ser inagotable, no se considera energía renovable, pese a que se está intentando su aceptación como tal. Por este mismo motivo, resulta imposible pedir una subvención al estado para la realización de una instalación como esta, a diferencia de otros tipos de instalaciones que sí que se consideran de energías renovables y sí que se podría pedir.

Como hemos dicho, inicialmente el Ayuntamiento propuso la sustitución de las antiguas bombas de calor aire-agua, ya que éstas así lo requerían, y según datos proporcionados por dicha entidad, los cuales ya se encargaron de pedir presupuesto a las empresas pertinentes dedicadas a este tipo de instalaciones, la sustitución de la totalidad de la antigua instalación costaría 53.500 € aproximadamente. Las nuevas bombas de calor tendrían un Coeficiente de eficiencia energética de 2,5, por lo que sabemos que por cada kW eléctrico que consumimos, producimos 2,5.



Esquema de funcionamiento de una instalación de energía arotérmica con bomba de calor aire-agua

3.2. Amortización

Como hemos explicado en el apartado de características del edificio, el consumo medio de nuestro espacio a climatizar es de 13.486 €. Si el coste de la nueva instalación son 76.000 € y las bombas de calor aire-agua tienen un COP de 2,5, por lo tanto, un 60% de la energía la extraemos del aire, y ocurre lo siguiente:

$13.486 \text{ €} \times 0,6 = 8.091 \text{ €}$ que nos ahorraremos anualmente, por lo que sólo gastaremos 17791 € al año.

$53.500 \text{ €} / 8.091 \text{ €} = 6,61$ años que tardaremos en amortizar la nueva instalación, utilizando como base el precio actual del kWh, sin tener en cuenta las subidas de precio anuales.

3.3. Integración arquitectónica

La principal ventaja de la aerotermia en cuanto a integración arquitectónica es que la instalación ocupa poco espacio comparado con otro tipo de instalaciones.

3.4. Ventajas

- La instalación no necesita una gran superficie.
- No requiere un presupuesto muy alto.
- Se amortiza bastante rápido.
- Desde una perspectiva medioambiental, la aerotermia no produce emisiones de CO².
- Arquitectónicamente la bomba de calor no necesita chimeneas de evacuación de humos.
- Al no existir combustibles inflamables se reduce el riesgo de incendio y explosión, por lo que es una energía segura.

3.5. Inconvenientes

- Su coeficiente de eficiencia energética es variable, ya que es sensible a las condiciones climatológicas externas. Con la aerotermia, algunos días del año puede ser necesario recurrir a un refuerzo eléctrico integrado en el sistema.
- Para conseguir subvenciones económicas la ley obliga a que el COP de la máquina sea como mínimo de 3,3 para una temperatura exterior de 7°C, por lo que en nuestro caso no conseguiríamos ningún tipo de desgravación.
- La aerotermia, sobretudo las máquinas exteriores, son aparatos más ruidosos que otros sistemas de climatización más innovadores.

4. Eficiencia energética

4.1. ¿El porqué de la eficiencia?

La sociedad de consumo actual necesita para mantener su nivel de vida y de confort un alto consumo energético. Actualmente, el reto se basa en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético, es decir, siendo más eficientes energéticamente.

Si bien es cierto que actualmente los países más avanzados del mundo son los que más energía consumen, también, en general, su consumo es más eficiente. Como es de esperar, se puede identificar una relación lineal entre el consumo de energía y el grado de contaminación. Sin embargo, países como Canadá, Finlandia, Suecia, Francia y Suiza presentan un menor grado de contaminación cuando presentan altos niveles de consumo per cápita de energía. Por el contrario, Australia, Noruega, Arabia Saudí y Estonia entre otros, presentan altos niveles de emisiones en comparación con su nivel de consumo de energía per cápita. Por lo tanto, esto demuestra que tomando las medidas adecuadas se pueden alcanzar niveles de eficiencia energética altos.

En España, el consumo energético está creciendo por dos razones básicas: en primer lugar, por el aumento de la población y en segundo, por el incremento de la intensidad energética requerida por la sociedad al aumentar su nivel de vida, y esto se refleja entre otros aspectos, en una mayor utilización del aire acondicionado y la calefacción. Los europeos estamos obligados a consumir menos energía, ya que el incremento del consumo hace aumentar la dependencia energética del petróleo y del gas. En este contradictorio contexto, claro está que se deben tomar medidas en cada uno de los sectores afectados. A continuación, explicamos qué medidas se podrían tomar en cada uno de ellos:

a) El sector industrial puede aumentar su eficiencia gracias al aprovechamiento de calores residuales y con la introducción de la bomba de calor en el proceso productivo.

b) En el sector del transporte, que en nuestro país tiene un peso relativamente superior al que tiene en el resto de países comunitarios, el objetivo de ahorro energético es muy importante, tanto en el campo de vehículos de carretera como para aviones. No es de extrañar que el sector empiece a introducir los denominados impuestos verdes para ir aumentando su eficiencia y de esta forma incentivar los proyectos más eficientes.

c) El sector terciario y residencial-doméstico tiene una tendencia creciente de consumo. En Europa los edificios consumen el 40 % de la energía, siendo la climatización, el coste más importante, con lo que la introducción de energías renovables sería una solución eficiente.

En este sentido, y como continuación del Código Técnico de la Edificación, el gobierno español aprobó el RD 47/07 por el cual se aprueba el procedimiento para la Certificación Energética de los Edificios de nueva construcción. Los cálculos se pueden realizar con un programa informático específico de ayuda (CALENER). Esta Certificación Energética de un edificio tiene en cuenta tanto los aspectos tecnológicos como otros que estrictamente lo son

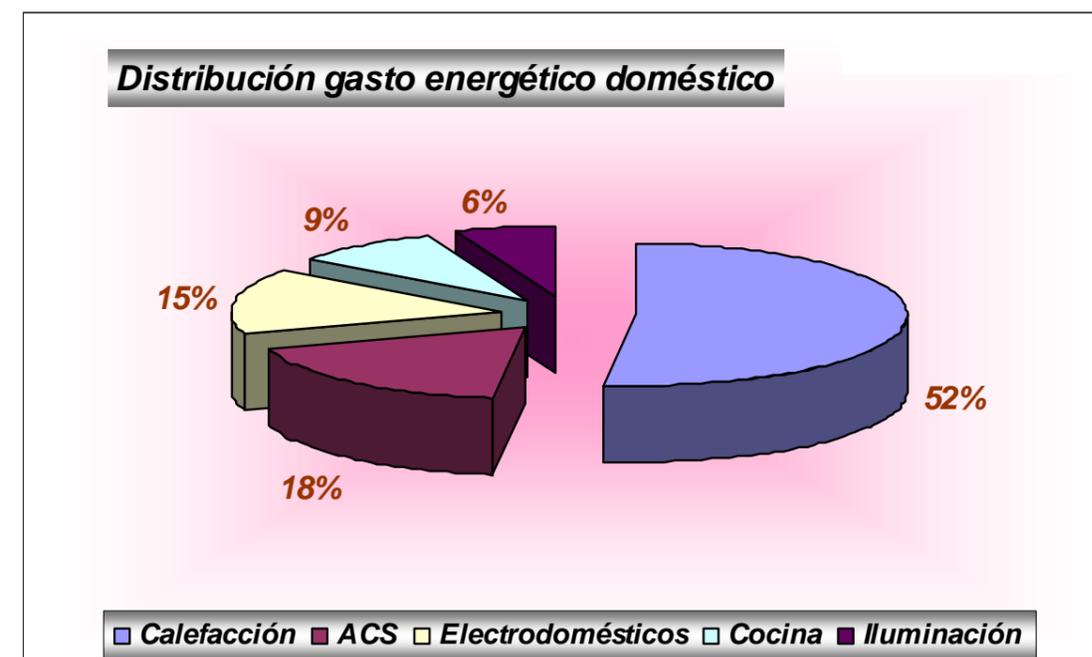
menos. Entre éstos estarían la orientación, las condiciones climáticas externas, el aislamiento, etc., y aspectos más tecnológicos serían la iluminación, los electrodomésticos y los sistemas de climatización. El consumo para la obtención del frío y del calor representa la parte más importante del consumo energético de una vivienda, y sin duda es el coste más significativo de los inducidos por un edificio durante su vida.

4.2. La calefacción, principal destino de la energía consumida en los hogares

En la Figura 1, se presenta la distribución del consumo energético por hogares según sus diferentes aplicaciones, donde se observa que el consumo energético en calefacción supone el 52% del consumo total de un hogar. Este porcentaje se incrementa en viviendas unifamiliares aisladas, donde la carga térmica es mucho mayor y, debido a ello, la demanda energética de calefacción puede llegar a suponer más del 70% del consumo total de la energía.

Por tanto, la obtención de una solución sostenible a medio-largo plazo a nivel de eficiencia energética en el sector doméstico pasa por reducir en la medida de lo posible el gasto energético en calefacción. Este objetivo sólo es alcanzable por dos vías:

- 1ª. La reducción de la demanda de calefacción mediante un adecuado diseño constructivo y una mejora de los sistemas de aislamiento que permitan reducir la carga térmica del edificio.
- 2ª. La producción de la calefacción a partir de fuentes renovables mediante equipos de elevada eficiencia energética.



Distribución del consumo energético por hogares

5. Las energías renovables en edificios

No todas las energías renovables son utilizables directamente para los edificios. Así, hemos de excluir, la energía eólica, la energía fotovoltaica, la hidráulica o los biogases que como fuentes renovables se utilizan para generar electricidad, si bien en casos muy aislados se pueden utilizar con fines domésticos. Las energías renovables para edificios se sintetizan básicamente en tres: la geotermia, la solar térmica y la biomasa. Estas energías son las que nos proveerán de calor, y en el caso de la geotermia, de frío y calor. Aun no soler ser habitual la realización de instalaciones de energía solar fotovoltaica para autoconsumo, nosotros definiremos este tipo de energía ya que la utilizaremos en una de nuestras propuestas.

5.1. Geotermia

La energía geotérmica de alta entalpía o gran profundidad se utiliza para generar electricidad. En cambio, el calor geotérmico de baja entalpía (poca profundidad) se utiliza para aplicaciones domésticas y en el sector terciario. Las bombas de calor de nueva generación utilizan intercambiadores de calor instalados a unos 100 metros bajo tierra y de esta manera se aprovecha la energía solar almacenada naturalmente en la corteza terrestre. Países como Suecia, Alemania, Suiza, Austria y Francia han desarrollado planes nacionales para potenciar esta aplicación.

Dado el sentido reversible de la bomba de calor (puede dar calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria), hace que sea considerada como una energía con gran futuro en los países de clima más continental: en este caso España es uno de los países pioneros en el sistema de reversión.

5.2. Fotovoltaica

Se denomina energía solar fotovoltaica a una forma de obtención de energía eléctrica a través de paneles fotovoltaicos.

Los paneles, módulos o colectores fotovoltaicos están formados por dispositivos semiconductores tipo diodo que, al recibir radiación solar, se excitan y provocan saltos electrónicos, generando una pequeña diferencia de potencial en sus extremos. El acoplamiento en serie de varios de estos fotodiodos permite la obtención de voltajes mayores en configuraciones muy sencillas y aptas para alimentar pequeños dispositivos electrónicos.

A mayor escala, la corriente eléctrica continua que proporcionan los paneles fotovoltaicos se puede transformar en corriente alterna e inyectar en la red eléctrica, operación que es muy rentable económicamente pero que precisa todavía de subvenciones para una mayor viabilidad.

El proceso, simplificado, sería el siguiente: Se genera la energía a bajas tensiones (380-800 V) y en corriente continua. Se transforma con un inversor en corriente alterna. Mediante un

centro de transformación se eleva a Media tensión (15 ó 25 kV) y se inyecta en las redes de transporte de la compañía.

En entornos aislados, donde se requiere poca potencia eléctrica y el acceso a la red es difícil, como estaciones meteorológicas o repetidores de comunicaciones, se emplean las placas fotovoltaicas como alternativa económicamente viable. Para comprender la importancia de esta posibilidad, conviene tener en cuenta que aproximadamente una cuarta parte de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica.

5.3. Solar térmica

La tecnología solar térmica está a punto de llegar a su madurez. Esta tecnología intentó hace unos años ser competitiva en la calefacción doméstica, principalmente en nuestro país. Las causas del poco éxito han sido, primero, que la radiación solar es inversamente proporcional a las necesidades de calefacción de una vivienda; en segundo lugar, otro factor determinante ha sido su elevado coste motivado por la fuerte inversión inicial, además del elevado coste de mantenimiento que requiere una instalación de este tipo. Actualmente la energía solar térmica se utiliza básicamente en aplicaciones de agua caliente sanitaria, y es de obligado cumplimiento para las nuevas construcciones.

5.4. Biomasa

La energía procedente de la biomasa es versátil, ya que sirve para producir electricidad, calor o carburante, y contrariamente a la electricidad, es almacenable. Su utilización en los edificios se ve condicionada por la existencia de fabricantes de pellet (residuos de madera prensada), con la calidad adecuada.

A estos aspectos se han de añadir las posibilidades que ofrece el edificio para su utilización. En nuestro país, existen pocos fabricantes de pellet, dada la inexistencia de explotaciones de cultivos para la biomasa. La utilización de este tipo de combustible se produce en mayor medida en el entorno rural, para aplicaciones como la calefacción y agua caliente sanitaria.

La biomasa ha sido noticia por las declaraciones del premio Nobel de Química, Hartmut Michel, en referencia a la no neutralidad de las emisiones de CO₂ de esta energía, ya que siempre se ha defendido que el CO₂ emitido por la combustión de la madera libera la misma cantidad de gases que los que absorbe el proceso de fotosíntesis de crecimiento de una planta. Para Michel, los combustibles de origen vegetal no son una buena opción para parar el cambio climático, puesto que no ahorran emisiones de CO₂ y además contribuyen a la deforestación del planeta.

6. Propuesta 1: Instalación de energía geotérmica

6.1. Principios de la geotermia solar

El planeta Tierra constituye un sistema activo desde el punto de vista energético y contiene una inmensa cantidad de energía en forma de calor acumulado en toda su masa. Esta energía recibe el nombre de energía geotérmica, procede del núcleo de la tierra y se va renovando gracias a la radiación solar que cada día atraviesa la atmósfera y que es absorbida en gran parte por la superficie del planeta en forma de calor. Esta superficie, llamada corteza terrestre, tiene la propiedad de acumular el calor procedente de la radiación solar que incide sobre ella. Asimismo, el agua que se infiltra en su interior también almacena esa energía gracias a su elevado calor específico así como a su excelente conductividad térmica.

De entre todas las energías renovables, la geotermia es una de las más utilizadas desde los orígenes de la humanidad. Desde la antigüedad, se ha utilizado en numerosos lugares para la calefacción de aguas termales, invernaderos y edificios, conociéndose comúnmente con el nombre de calefacción geotérmica. Actualmente, este término abarca un concepto más amplio y designa el arte de captar la energía de la tierra para su transformación en energía útil para las personas.

En la actualidad, la tecnología permite aprovechar esta energía natural de origen renovable para cubrir las necesidades de calefacción y climatización de los hogares, la producción de agua caliente sanitaria e incluso, la climatización de piscinas.

La gran masa de la Tierra hace que la temperatura del subsuelo, a partir de unos 2 metros de profundidad, se mantenga prácticamente constante durante todo el año; esta temperatura varía según las características del terreno y la radiación solar propia de la región. En España, un país con una gran radiación solar, la temperatura de la tierra a profundidades de más de 2 metros es relativamente alta (alrededor de los 15 grados).

Podemos considerar el subsuelo a pequeñas profundidades como fuente de calor (energía), totalmente renovable e inagotable. Mediante un sistema de captación adecuado y una bomba de calor geotérmica, se consigue transferir calor de esta fuente de 15 grados (subsuelo) a otra de 50 grados (acumulador ACS o circuito de agua), para ser utilizada en calefacción doméstica y/o como agua caliente sanitaria de uso en la vivienda.

La misma bomba de calor puede absorber calor del ambiente a 40 grados y transferirlo al subsuelo con el mismo sistema de captación, esto implica que el sistema puede solucionar la calefacción doméstica y la refrigeración. Es decir, la vivienda tiene una sola instalación para su climatización total.

El rendimiento energético de un sistema de climatización, utilizando como fuente de calor el subsuelo a 15 grados, es de como mínimo del 450% calentando y del 600% enfriando. Esto es posible puesto que no se genera todo el calor, sino que la mayor parte sólo se transfiere de una fuente a otra.

Este sistema de climatización es altamente ecológico puesto que no hay ninguna combustión y no se genera CO_2 .

La eficiencia del sistema en el proceso de calefacción representa un ahorro de más del 75% de los kW consumidos respecto los kW aportados, mientras que en el proceso de refrigeración representa un ahorro del 83%. Esta eficiencia puede llegar a ser un 50% mayor que en los sistemas tradicionales de refrigeración con bombas de calor aerotérmicas.



6.2. Evolución. Referencia mundial

La tecnología de climatización por captación geotérmica se aplica desde hace más de 30 años en todo el mundo y es una de las más utilizadas en los países del norte de Europa y Francia, donde el número de instalaciones geotérmicas crece sustancialmente año tras año. Hoy por hoy, es el único sistema basado en una energía limpia capaz de cubrir el 100% de las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria sin necesidad de ser complementado con otros sistemas.

La primera bomba geotérmica fue instalada en Commonwealth Building, en Portland (Oregón) en el año 1946. Pese a este prematuro acontecimiento, la geotermia solar no llegó a acontecer popular hasta la crisis del petróleo de 1973, donde países como Alemania, Suecia, Estados Unidos, Canadá o Inglaterra potenciaron la utilización de la bomba de calor como alternativa a los combustibles sólidos.

Teniendo en cuenta los ambiciosos objetivos de la Unión Europea sobre la energía renovable, previstos para 2010, se han puesto en marcha varias campañas para hacer frente a este hito. La campaña "Energía Sostenible en Europa 2005-2008" ha tenido como una de sus metas para potenciar las energías renovables, la instalación de 250.000 bombas geotérmicas.

En nuestro país, dado el poco grado de madurez del mercado de la geotermia solar, se confunde en muchos casos la geotermia de alta entalpía, que consigue generar energía eléctrica, con la geotermia solar, que aprovecha la energía solar, siendo una excelente solución de eficiencia energética. Pero en los últimos tiempos, los organismos oficiales van incorporando poco a poco la geotermia solar como energía renovable, siguiendo la tendencia europea.

A continuación mencionaremos las principales referencias de los organismos oficiales en materia de geotermia solar y su aplicación a la climatización de los edificios:

A) Libro Azul de las Fuentes Geotérmicas. Comisión Europea 1999

Este libro se puede considerar como la referencia comunitaria de la energía geotérmica. En él se especifica que hay dos sistemas de explotación de ésta energía: las fuentes de alta temperatura, de más de 150° C, utilizadas para la generación de energía eléctrica, y las fuentes de baja temperatura (menos de 150° C) que se utilizan directamente como energía o bien a través de las bombas de calor, incluso por debajo de los 20° C.

Las bombas de calor geotérmicas (GHP) pueden funcionar en cualquier lugar. Su mercado es muy amplio: desde casas unifamiliares a complejos edificios públicos. La doble función de las GHP (calefacción y aire acondicionado) hace que se espere una fuerte implantación en un futuro muy próximo. Aun así, el uso de las bombas de calor está muy extendido en EEUU y en Japón, así como en los países del norte de Europa, Alemania, Suiza, Austria y Francia, pero se espera que aumente su mercado en otros países que necesitan aire acondicionado y calefacción como es el caso de Italia, Portugal y España.

B) Departamento de energía de los EEUU

Nos dice que las bombas de calor geotérmicas (GHP) proporcionan una energía económica para calentar y refrigerar el hogar. Sus principales ventajas son:

- Bajo consumo de energía.
- Comodidad a lo largo del año (grado de confort muy alto).
- Características del diseño (tamaño más reducido).
- Estética mejorada: Los equipos no requieren torres de refrigeración.
- Respeto total al medio ambiente.
- Bajo coste de mantenimiento.
- Calefacción y refrigeración a la vez.
- Durabilidad (más de 20 años).

C) Libro Verde de la Comisión de Energía de la Comunidad Europea

Indica que la Unión Europea debe mejorar su dependencia en materia energética, que actualmente es del 50% y se espera que ascienda a tasas del 70% en 2030. Las emisiones de CO₂ están subiendo, y por lo tanto existen dificultades para cumplir con los compromisos de Kyoto. Así que una forma de combatir el crecimiento de la demanda energética es haciendo promoción de la economización energética en los edificios.

D) Directiva del Parlamento Europeo y del Consejo sobre la mejora energética de los edificios

Nos dice que el consumo energético en la Unión Europea va creciendo de año en año. De este consumo el 40,7% de la demanda es utilizada por el sector residencial y terciario. Y sólo un 10% de la energía consumida por este sector proviene de fuentes de energías renovables. En el sector terciario (residencia y servicios), el consumo por climatización y obtención de agua caliente sanitaria, representa más del 65% del consumo global en el sector. Se piensan potenciar las inversiones realizadas gracias a las medidas de promoción y rentabilidad energética de los edificios en este campo. Con este conjunto de medidas parece posible economizar el 22% del consumo actual con un horizonte situado en el año 2010. El futuro de las bombas de calor viene condicionado al descenso de su precio y la mejora de los rendimientos.

6.3. Equipo y funcionamiento

Este sistema de aprovechamiento de la energía solar absorbida por la superficie de la Tierra se basa en tres elementos principales:

- Circuito de intercambio geotérmico con la Tierra (unidad geotérmica de intercambio -UGI-).
- La bomba de calor geotérmica
- Circuito de intercambio con la vivienda

6.3.1. Circuito de intercambio geotérmico con la Tierra

6.3.1.1. Sistemas de captación de la energía geotérmica

Gracias a la colocación en el terreno de unos captadores de energía o colectores por los cuales circulará un fluido, normalmente agua glicolada, que al ponerse en contacto con el subsuelo, captarán o cederán energía como consecuencia de un salto térmico entre el fluido y el terreno. También es posible extraer las aguas subterráneas y aprovechar su temperatura.

Los sistemas que se pueden emplear para la captación de la energía geotérmica son los siguientes:

- Intercambio de calor con aguas superficiales (lagos o ríos)
- Pilonos, pantallas o cimientos de los edificios
- Captación vertical
- Captación horizontal
- Captación de sistemas abiertos (agua freática)

A) Intercambio de calor con aguas superficiales (lagos o ríos)

Este sistema se basa en poner en contacto térmico agua que provenga de una fuente superficial con la unidad de intercambio geotérmico, según sean las necesidades por absorción o cesión de calor. Su ventaja es el coste, en cambio tiene como principal inconveniente la poca aplicabilidad, puesto que se necesita una fuente de agua disponible.

B) Pilonos, pantallas o cimientos de los edificios

En el centro de Europa también se aprovechan los muros y cimentaciones de los edificios para el intercambio geotérmico. Este sistema es poco utilizado en nuestro país.

C) Captación vertical

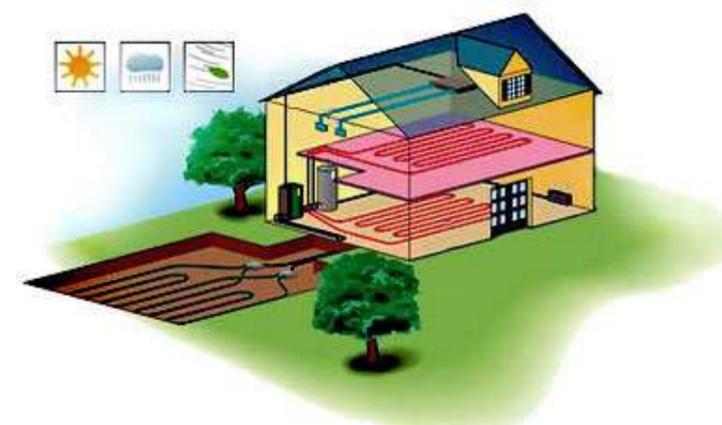
La captación vertical consiste en la ejecución de una o varias perforaciones en las cuales se introducirán los captadores de energía. Su longitud varía entre los 50 hasta los 200 metros aproximadamente. Tienen la ventaja de que ocupan poco espacio y proporcionan una gran estabilidad de las temperaturas. Por el contrario, su ejecución es más cara que otros sistemas de captación.



Calefacción geotérmica mediante sondas de captación verticales

D) Captación horizontal

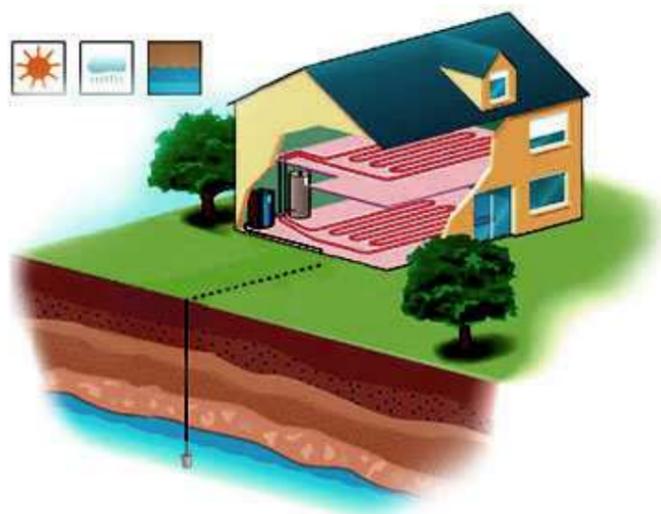
La captación horizontal consiste en la ejecución de una serie de zanjas en las cuales se colocan los colectores de energía. Su profundidad está comprendida entre los 0,6 m a 1,5 m aproximadamente. Se trata de un sistema más económico que las perforaciones que sin embargo presenta el inconveniente de requerir bastante superficie de terreno, sobre el cual no se podrán plantar árboles de profundas raíces que puedan romper en un futuro los colectores ni construir plataformas o soleras sobre la zona con colectores.



Calefacción geotérmica mediante captadores horizontales

E) Captación de sistemas abiertos (agua freática)

Existe la posibilidad de extraer agua subterránea por una perforación, llevarla a la bomba de calor y una vez hecho el intercambio energético, devolverla al subsuelo por otra perforación diferente. Este sistema requiere garantizar un caudal mínimo durante toda la vida de la instalación. Además tendremos que tener en cuenta el consumo energético de la bomba de elevación que tendremos que imputárselo al sistema de climatización con el consiguiente descenso en la eficiencia global del sistema. Por último, en este caso ya se está haciendo uso de un recurso hídrico por lo que es necesario tener autorización de la confederación hidrográfica correspondiente.



Calefacción geotérmica por captación de agua de la capa freática

6.3.1.2. Descripción y diseño del sistema de captación

Después de analizar los distintos sistemas de captación que nos ofrece el mercado y ver las características de nuestro edificio, se ha optado por escoger el sistema de captación vertical, ya que se carece de la superficie necesaria para poder introducir un sistema de captación horizontal, además de no disponer tampoco de una fuente de agua superficial.

Según datos proporcionados por el Ayuntamiento de Sabadell y conociendo la potencia de las antiguas bombas de calor aire-agua, tomaremos como bases de diseño los siguientes datos:

- Superficie a climatizar: 600 m²
- Potencia de calefacción: 78 kW

Sabiendo estos datos, dada la complejidad del dimensionado que requieren estas instalaciones, se solicitó ayuda a la empresa Calor Natural, muy partícipe en el mercado de la geotermia y con sede en la misma ciudad de Sabadell. Para dimensionar una instalación de este tipo primeramente hay que realizar un estudio del terreno para saber las características de éste, y seguidamente se introducen los datos en un programa de cálculo de colectores

geotérmicos. Algunos de los datos necesarios son la temperatura que queremos alcanzar en el espacio a climatizar, el calor específico del terreno, el coeficiente de conductividad térmica de éste, la temperatura del subsuelo, la potencia de la bomba de calor, el COP de ésta o su ciclo de trabajo.

Para cubrir esta potencia, son necesarios unos aparatos que nos proporcionen, como hemos dicho, 78 kW, por lo que hemos escogido dos bombas de calor NIBE Fighter 1330-40 de 39 kW cada una con un COP de 4,5, cuyas características técnicas aparecen en el apartado correspondiente a la bomba de calor. La temperatura que queremos alcanzar en nuestro espacio a climatizar será de 21°C y la temperatura media de la ciudad de Sabadell en invierno es de 8°C, así como 25°C en verano, pero sabiendo que se pueden alcanzar temperaturas de hasta 35°C. La temperatura media del subsuelo será de 15 °C, y otro dato es que cada 100 metros de profundidad la temperatura aumenta entre 1,5 y 3 °C.

Con esta bomba de calor el consumo eléctrico es tan sólo del 22% ya que el 78% de la energía se extrae del subsuelo.

Por tanto:

$$78.000 * 0,78 = 60.840 \text{ W que deberán extraerse de la tierra.}$$

Según datos de Calor Natural, quienes ya habían realizado proyectos en el Vallés, el terreno es arcilloso con un estrato de agua subterránea a unos 30 metros, y la parte más profunda está formada por arcillas compactadas, así que tendrá una capacidad de intercambio térmico de 65 W/m, por lo que serían necesarios:

$$60.840 / 65 = 936 \text{ m de sonda vertical.}$$

Esto quiere decir que tendrán que realizarse 10 pozos de entre 90 y 100 m de profundidad donde se introducirán las sondas geotérmicas. En estos pozos se deben evitar las cavidades de aire ya que perjudican al intercambio térmico entre el terreno y las sondas y viceversa, por lo tanto, para evitar la porosidad en el hormigón y así aumentar la conductividad térmica entre los materiales se utilizará un hormigón de consistencia muy fluida. Los pozos se harán con máquinas perforadoras que funcionan con el mecanismo de rotación-percusión.

Las sondas geotérmicas consisten en dos tubos de polietileno reticulado de alta densidad con un diámetro de 32 mm y un peso en la parte de abajo. Por estos tubos circulará agua glicolada. El glicol es una sustancia que se mezcla con el agua y se utiliza como anticongelante, con lo que se consigue que la mezcla que circula por el circuito no se congele y no revienten las tuberías. Uno de los tubos es por donde va el agua glicolada, y en nuestro caso va a -2°C, y el otro tubo es por donde vuelve, a 2°C, por lo que el aumento de temperatura es de 4°C. Además, se utiliza un tercer tubo para hormigonar el pozo.

Para la transferencia de calor se utiliza Tyfocor (monoetilenglicol) al 33% y el 66% de agua. Para saber la cantidad de glicol que necesitamos haremos los siguientes cálculos, sabiendo que tenemos unos 1.000 metros de conducto de 32 mm de diámetro:

$$32 \text{ mm} = 0,32 \text{ dm}$$

$$1 \text{ m} = 100 \text{ dm}$$

$$V = \pi \times r^2 \times h = \pi \times 0,16^2 \times 100 = 8,04 \text{ l/m} \times 30\% \text{ de glicol} = 2,4 \text{ l/m de glicol}$$

Donde:

V = Volumen del conducto

r = radio del conducto

h = altura del pozo

$$2,4 \text{ l/m} \times 1000 \text{ m} = 2.400 \text{ l}$$

Por lo tanto necesitaremos 2.400 l de glicol para nuestra instalación.

Al primer pozo se le hará una prueba de respuesta térmica con una máquina preparada, formada por una bomba de circulación, una resistencia eléctrica, un vaso de expansión, un caudalímetro, un sensor de temperatura y un sensor de presión. Con esto se verifica si el pozo funcionará correctamente respecto a las expectativas esperadas.



Sonda geotérmica



Máquina perforadora realizando la perforación para pozos geotérmicos

6.4. La bomba de calor

La bomba de calor es una máquina termodinámica que está formada por un circuito frigorífico clásico (compresor, condensador, sistema de expansión y evaporador) el cual que permite transferir energía en forma de calor de un foco con más temperatura a otro que esté a una temperatura más baja. En nuestro caso, el foco de más temperatura es la tierra, y gracias al sistema de captación y a la bomba de calor, se consigue la suficiente energía calorífica como para climatizar un espacio como el nuestro. La particularidad de este sistema radica en su válvula inversora de ciclo, la cual puede invertir el sentido del flujo de refrigeración transformando el condensador en evaporador y viceversa, pudiendo conseguir así tanto frío en verano como calor en invierno.

6.4.1. Refrigerantes

En estos intercambios de energía intervienen calores latentes de evaporación y de condensación de un fluido refrigerante con un bajo punto de ebullición.

Un refrigerante es un fluido cuyo mecanismo de acción consiste en tomar calor de un recinto a enfriar cambiando de fase, de líquido a vapor, utilizando el calor latente de vaporización en la producción de frío.

6.4.2. Elementos que componen la bomba de calor

Las principales partes de una bomba de calor son cinco:

A) Intercambiador

Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor de un fluido a otro, sea que estos estén separados por una barrera o que se encuentren en contacto. Son parte esencial de los dispositivos de refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico.

En una bomba de calor hay dos tipos de intercambiadores:

1) Evaporador

El evaporador es el elemento en el que se produce el efecto frigorífico por ebullición del fluido refrigerante procedente del sistema de expansión. Se trata de un intercambiador de calor, en donde el refrigerante, después de la expansión, absorbe el calor del medio, que en nuestro caso es agua, para cambiar de estado hasta que todo se encuentre como gas.

2) Condensador

Un condensador es un intercambiador de calor en el que el refrigerante que proviene del compresor en estado de vapor sobrecalentado, a temperatura elevada, cede calor a un medio que puede ser aire o agua. Este enfriamiento produce la condensación del fluido

refrigerante. El condensador disipa la energía que recoge el evaporador, y además la componente térmica del trabajo del compresor.

B) Compresor

Es el elemento mecánico más complicado y delicado de la instalación, siendo objeto de inspecciones y verificaciones sistemáticas. Además, el compresor es el único elemento de la máquina que necesita para su funcionamiento consumir energía mecánica.

Este dispositivo permite aumentar la presión del refrigerante en estado gaseoso y normalmente sobrecalentado, procedente del evaporador, hasta una presión que favorece el paso de estado de gas a líquido en el condensador, cediendo calor al entorno. Hay que tener en cuenta que no se puede aumentar la presión sin que además aumente la temperatura.

C) Válvula de expansión

Es el elemento que separa el lado de alta presión del de baja presión. Su finalidad es doble: regular el flujo de refrigerante hacia el evaporador y reducir la presión del líquido refrigerante.

D) Inversor de ciclo o válvula de 4 vías

Es una parte importante de las bombas de calor reversibles y sirve para regular el flujo de refrigerante desde la descarga del compresor hacia la denominada sección exterior o sección interior que actúa como condensador. Su función es la de invertir el ciclo, ya que invierte el sentido del flujo de calor pudiendo impulsar calor en cualquier dirección.

La batería interior (dentro del local), que en invierno realizaba la función de condensador cediendo calor al local, cuando se invierte el ciclo en verano realizará la función de evaporador, absorbiendo calor del local. De forma similar ocurre con la batería exterior.

En la figura de la página siguiente se muestra el ciclo de calefacción y el de refrigeración de una bomba de calor reversible, equipada con una válvula de cuatro vías que produce una inversión del ciclo.

6.4.3. Funcionamiento de la bomba de calor

En la imagen de la derecha se observa el esquema de principio de funcionamiento de una bomba de calor. Una bomba de calor no es una "máquina frigorífica que funciona a la inversa", sino que es un circuito que funciona de la misma manera que un refrigerador doméstico.

Primeramente, el refrigerante pasa por un intercambiador de calor denominado evaporador, produciéndose una sustracción de energía calorífica de la tierra en nuestro caso, que absorbe el refrigerante, ya que está a menos temperatura que la propia tierra, con lo que consigue pasar del estado líquido al gaseoso, teniendo lugar un cambio de estado.

Seguidamente, el gas es aspirado por el compresor, el cual lo comprime haciendo que aumente aun más su temperatura y su energía interna para así poder transmitir el calor suficiente a otro intercambiador denominado condensador, por donde pasa después de la compresión. En el condensador, refrigerado por aire o agua, la segunda opción en nuestro caso, el gas se licua y libera una cantidad de calor determinada al medio que se pretende calentar, ya que aun está más caliente que dicho medio. Esto se consigue mediante el paso del refrigerante del estado gaseoso al estado líquido.

El calor total cedido por el condensador será igual al calor absorbido por el evaporador más el calor resultante de la transformación del trabajo mecánico realizado por el compresor, que se transforma en calor.

A la salida del condensador el líquido va a un sistema de expansión, que en general es un orificio calibrado o un tubo capilar donde se produce la expansión, recuperando su presión inicial. Finalmente el refrigerante vuelve al evaporador donde absorbe una cantidad de calor determinada y se vuelve a repetir el proceso.

La válvula inversora de ciclo, o válvula inversora de cuatro vías se encuentra a la salida (descarga) del compresor y, según la temperatura del medio a climatizar, se conmuta invirtiendo el flujo de refrigeración.

El interés de la bomba de calor reside en que la cantidad de energía consumida en hacer girar el compresor (normalmente con un motor eléctrico) es en general pequeña en comparación con la cantidad de energía desprendida por el condensador, y en consecuencia recibida por el medio que interesa calentar.

En muchos casos pueden utilizarse para la calefacción de edificios, despachos o viviendas, ventilo-convectores o fan-coils, en los que la temperatura del agua caliente a la entrada será del orden de 40 a 42 °C y son capaces de mantener la temperatura ambiente de 20 a 22 °C.

Normalmente, se dispone de una fuente de corriente eléctrica, siendo el caso más habitual el de conexión a red. Sin embargo, los compresores y aparatos auxiliares también pueden funcionar mediante un motor a gas, gasolina o diesel, con la ventaja suplementaria, en este caso, de poder recuperar el calor perdido residual desprendido en las camisas de los cilindros, en el aceite de refrigeración y en los gases de escape.



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

6.4.4. El rendimiento de una bomba de calor o Coeficiente de eficiencia energética (COP)

La cantidad de calor que se puede bombear depende de la diferencia de temperatura entre los focos frío y caliente. Cuanto mayor sea esta diferencia, menor será el rendimiento de la máquina.

Las bombas térmicas tienen un rendimiento, denominado COP (coefficient of performance, en castellano CEE, coeficiente de eficiencia energética) mayor que la unidad. Aunque esto puede parecer imposible, se debe a que en realidad se está moviendo calor usando energía, en lugar de producir calor como en el caso de las resistencias eléctricas. Una parte muy importante de este calor se toma de la tierra. En toda bomba de calor se verifica que el calor transmitido al foco caliente es la suma del calor extraído del foco frío más la potencia consumida por el compresor, que se transmite al fluido.

$$P_t = P_1 + P_2$$

Donde:

P_t = Potencia total

P_1 = Potencia que transmite el compresor al fluido refrigerante

P_2 = Potencia que se extrae del calor del terreno

Dado esto, el COP o Coeficiente de eficiencia energética se expresa de la siguiente manera:

$$COP = \frac{P_t}{P_2}$$

Una bomba de calor típica tiene un COP de entre dos y seis, dependiendo de la diferencia entre las temperaturas de ambos focos.

6.5. Otros elementos que componen la instalación

A) Depósito de inercia

El depósito de inercia se utiliza como acumulador de calor para sistemas de calefacción o de instalaciones de agua caliente sanitaria (ACS). El calor producido por el sistema de captación y la bomba de calor se transmite al depósito a través de un intercambiador de calor. Su función es mantener el calor en el fluido calorportador, con lo que se consigue optimizar el funcionamiento de la instalación reduciendo el número de paradas/arranques de la bomba de calor, y así alargando su vida útil y reduciendo el consumo de electricidad, por esto el fabricante recomienda su instalación.

B) Vaso de expansión

Un Vaso de expansión o Depósito de expansión es un elemento utilizado en circuitos de calefacción de edificios para absorber al aumento de volumen que se produce al expandirse, por calentamiento, el fluido calorportador que contiene el circuito.

También se utilizan en otras instalaciones en los que se producen cambios de temperatura, y por lo tanto de volumen, de algún fluido (generalmente agua).

En los márgenes de temperaturas que habitualmente se producen en las calefacciones (entre 10 y 90 °C) esa expansión es del orden de 4% en volumen, lo que significa que la capacidad de los vasos debe ser de este orden sobre el volumen total contenido en todo el circuito.

C) Bombas de recirculación

Una bomba es una máquina hidráulica generadora que transforma la energía (generalmente energía mecánica) con la que es accionada en energía hidráulica del fluido que mueve. El fluido puede ser líquido o una mezcla de líquidos y sólidos como puede ser el hormigón antes de fraguar o la pasta de papel. Al incrementar la energía del fluido, se aumenta su presión, su velocidad o su altura. En general, una bomba se utiliza para incrementar la presión de un líquido añadiendo energía al sistema hidráulico, para mover el fluido de una zona de menor presión o altitud a otra de mayor presión o altitud.

D) Valvulería

Las válvulas son elementos que sirven para regular, permitir o impedir el paso de un fluido entre dos partes de un mecanismo o sistema.

E) Manómetro

Un manómetro es un instrumento de medición que sirve para medir la presión de fluidos contenidos en recipientes cerrados.

F) Caudalímetro

Instrumento empleado para la medición del caudal de un fluido o Gasto másico. Estos aparatos suelen colocarse en línea con la tubería que transporta el fluido. También suelen llamarse medidores de caudal, medidores de flujo o flujómetros.

Existen versiones mecánicas y eléctricas. Entre las mecánicas se encuentran los viejos contadores de agua instalados a la entrada de una vivienda para determinar cuantos metros cúbicos de agua se consumieron. Un ejemplo de caudalímetro eléctrico lo podemos encontrar en los calentadores de agua de paso que lo utilizan para determinar el caudal que está circulando o en las lavadoras para llenar su tanque a diferentes niveles.

6.6. Diseño de la bomba de calor y el depósito de inercia

6.6.1. Bomba de calor

Al ser simplemente una sustitución, se ha buscado una bomba de calor de 78 kW de potencia, pero como no se ha encontrado ninguna con tal potencia, hemos decidido utilizar dos bombas NIBE Fighter 1330-40 de 39 kW cada una, con lo que las necesidades estarían cubiertas. En el anexo se puede ver la ficha técnica con las características correspondientes a esta máquina.

6.6.2. Depósito de inercia

Según el fabricante se necesitan 12,5 l por kW de potencia, por lo que sabiendo que nuestra potencia son 78 kW, tenemos que:

$$12,5 \text{ l/kW} \times 78 \text{ kW} = 975 \text{ l}$$

Nuestro depósito de inercia será de 1000 litros.

6.7. Descripción de los equipos

Dos bombas de calor geotérmicas NIBE Fighter 1330-40 con las siguientes características técnicas:

Potencia de salida en generación de agua caliente: 39,0 kW
 Potencia de salida en refrigeración: 42 kW
 Potencia absorbida: 9 kW
 Tensión de alimentación eléctrica: 400 V (3 phase + zero)
 Peso: 350 kg
 Dimensiones: 1.580x600x625 mm
 Coeficiente de prestación COP: 4.5
 Refrigerante: R407C
 Potencia eléctrica total necesaria: 18 kW

Depósito de inercia Stiebel Eltron SBP 1000 E

Capacidad: 1000 L
 Dimensiones: 2.250x1.010 mm
 Peso: 184 kg

Lote captador vertical

Compuesto de:
 1 colector de 20 salidas DN32 para sondas geotérmicas
 Módulos hidráulicos compuestos de bombas de recirculación y vasos de expansión, manómetros, caudalímetros y valvulería.
 Suministro de 2400 litros de glicol.

6.8. Integración arquitectónica

En nuestro caso ha sido necesario realizar obra civil para la perforación de los pozos geotérmicos, además también sería necesario destinar algún espacio para la sala de maquinaria, donde irían ubicadas las bombas de calor geotérmicas, el depósito de inercia y el resto de elementos necesarios para este tipo de instalación.

6.9. Ventajas

- Desde una perspectiva medioambiental, la geotermia solar no produce emisiones de CO².
- Como aspectos sanitarios, debemos destacar la no existencia de las torres de refrigeración, evitando de esta forma cualquier contaminación por legionelosis.
- Desde una vertiente estética, la no existencia de torres de refrigeración ni condensadores de aire hace que el edificio quede exento de cualquier perturbación visual.
- Como la instalación sólo necesita una ligera aportación de energía, la vivienda tiene la consideración de unidad de contaminación "cero".
- La bomba de calor geotérmica al intercambiar con la corteza de la tierra, tiene un rendimiento muy alto no dependiendo de la temperatura exterior, lo cual hace que el sistema sea muy eficiente técnicamente.
- Arquitectónicamente la bomba de calor no necesita chimeneas de evacuación de humos.
- La geotermia solar es una solución eficiente desde una perspectiva económica. El gasto más importante en materia energética de las viviendas actuales, es el gasto en climatización (calor y refrigeración) y en agua caliente sanitaria. En este concepto, una construcción nueva puede gastar más del 70% del gasto energético. Es por esto, que la geotermia solar soluciona una parte muy importante del consumo energético de las viviendas. Por todo esto se amortiza relativamente rápido.
- Este tipo de instalación es muy silenciosa a diferencia de otro tipo de instalaciones como la aerotermia.
- Al no existir combustibles inflamables se reduce el riesgo de incendio y explosión, por lo que es una energía segura.

6.10. Inconvenientes

- Requiere tener espacio si el sistema de captación es horizontal, en nuestro caso esto no sería un problema ya que el sistema utilizado es el vertical.
- Las obras necesarias para realizar los sistemas de captación suelen ser costosas.
- El sistema, en general, requiere un presupuesto elevado, por lo que no cualquier persona se lo puede permitir.

6.11. Presupuesto

Nº	Unidades	Descripción	Coste (€)
1	2	Bomba de calor geotérmicas NIBE Fighter 1330-40 con las siguientes características técnicas: Potencia de salida en generación de agua caliente: 39,0 kW Potencia de salida en refrigeración: 42 kW Potencia absorbida: 9 kW Tensión de alimentación eléctrica: 400 V (3 phase + zero) Peso: 350 kg Dimensiones: 1.580x600x625 mm Coeficiente de prestación COP: 4.5 Refrigerante: R407C Potencia eléctrica total necesaria: 18 kW	30.000
2	1	Depósito de inercia Stiebel Eltron SBP 1000 E Capacidad: 1000 L Dimensiones: 2.250x1.010 mm Peso: 184 kg	1.200
3	1	Lote captador vertical Compuesto de: 1 colector de 20 salidas DN32 para sondas geotérmicas Módulos hidráulicos compuestos de bombas de recirculación y vasos de expansión, manómetros, caudalímetros y valvulería. Suministro de 2400 litros de glicol.	4.700
4	-	Trabajos de mano de obra consistentes en la instalación y la conexión e interconexión de todos los elementos anteriormente citados: 2 generadores de calor, 1 depósitos de inercia así como de los elementos de conexión a sondas (colectores, vasos de expansión, etc).	20.600
5	-	Proyecto y dirección de obra Proyecto ejecutivo en el cual se detallan las dimensiones y potencias de todos los elementos que componen la instalación así como su funcionamiento. Realización de la ingeniería y dirección de las obras de instalación y montaje así como la puesta en marcha definitiva de la instalación.	2.800
6	-	Suministro y ejecución de las sondas así como ejecución de las perforaciones.	51.000
PRESUPUESTO TOTAL			110.300 €

6.12. Amortización

Como hemos explicado en el apartado de características del edificio, el gasto medio anual para climatizar nuestro espacio es de 13.486 €. Si el coste de la nueva instalación es de 110.300 € y las bombas de calor geotérmicas tienen un COP de 4,5, por lo tanto, un 78% de la energía la extraemos de la tierra, y ocurre lo siguiente:

$13.486 \text{ €} \times 0,78 = 10.519 \text{ €}$ que nos ahorraremos anualmente, por lo que sólo gastaremos 3.327 € al año.

$110.300 \text{ €} / 10.519 \text{ €} = \mathbf{10,48 \text{ años que tardaremos en amortizar la nueva instalación, utilizando como base el precio actual del kWh, sin tener en cuenta las subidas de precio anuales.}}$

6.13. Subvenciones

Hace unos años, el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Instituto de Crédito Oficial (ICO) firmaron un acuerdo para la puesta en marcha de una nueva línea de financiación para proyectos de energías renovables, por un importe de 179,9 millones de euros. De esta cantidad, 145 millones serían aportados por el ICO y los 34,7 millones restantes por el IDAE.

Después de informarnos, hemos podido comprobar que para una instalación de nuestro tipo, estas entidades nos podrían subvencionar el 15% del precio total que vale esta instalación, por lo que en realidad, nos ahorraríamos 16.545 €, cosa que reduciría el tiempo de amortización. Dicho esto tenemos lo siguiente:

$110.300 \text{ €} - 16.545 \text{ €} = \mathbf{93.755 \text{ € que nos costaría nuestra instalación con la subvención ICO-IDAE}}$

$93.755 \text{ €} / 10.519 \text{ €} = \mathbf{8,91 \text{ años que tardaríamos en amortizar la instalación}}$

Esta línea de financiación se enmarca entre las actuaciones previstas por el Plan de Fomento de las Energías Renovables 2000-2010, cuyo objetivo es lograr en el año 2010 que el 12% de consumo de energía primaria en España proceda de fuentes de energías renovables.

6.14. Mantenimiento

No será mucho el mantenimiento que precise este tipo de instalación, así que se podría resumir en una revisión periódica de los niveles de fluidos como el agua glicolada o el refrigerante.

6.15. Imágenes de una sala de máquinas de una instalación de energía geotérmica

La empresa Calor Natural propuso realizar una visita de obra para ver una instalación de energía geotérmica de una potencia similar a la que nosotros necesitábamos. En las siguientes imágenes se pueden ver instalados los distintos elementos explicados en los apartados anteriores.



Imagen de la sala de máquinas donde podemos ver las bombas de calor, un depósito de inercia y un vaso de expansión, entre otros elementos



Imagen de las salidas hacia los pozos o colectores geotérmicos



Bomba de calor geotérmica



Intercambiador de placas

7. Propuesta 2: Instalación de energía geotérmica complementada con energía solar fotovoltaica

Esta propuesta consistirá en complementar la instalación de energía geotérmica propuesta anteriormente con otra de energía solar fotovoltaica, de manera que quien produzca la energía eléctrica que necesitan las bombas de calor para su funcionamiento sea esta segunda instalación.

7.1. ¿Qué es la energía solar fotovoltaica?

La energía solar fotovoltaica es la energía eléctrica que se obtiene directamente del sol. El sol es una fuente de energía gratuita e inagotable, y su utilización no produce emisiones de gases de efecto invernadero. Mediante unos paneles que utilizan células fotovoltaicas, podemos transformar la radiación solar en energía eléctrica. Así, podemos producir electricidad durante el día, almacenarla y consumirla posteriormente. La célula se designa fotovoltaica como PV, término que deriva de las palabras photo = luz, y voltaics = voltaje eléctrico.

Cuando la radiación solar incide sobre un material semiconductor en el cual se han creado artificialmente dos regiones, la tipo P (P=Positivo) dopada con cantidades pequeñísimas de boro que contiene "orificios" cargados positivamente y la tipo N (N=Negativo) que contiene electrones adicionales, se produce el efecto fotoeléctrico.

El efecto fotoeléctrico es el que permite la conversión directa de los rayos del sol (luz) en electricidad. Cuando los rayos del sol inciden en una superficie receptora, normalmente de silicio, en ella se genera una diferencia de potencial (voltaje) que puede ser aprovechado conectando unos electrodos adecuadamente. Esta diferencia de potencial se produce gracias a la exposición a la luz de los mencionados materiales P y N. Esto produce un campo electrostático constante, lo que produce un movimiento de electrones (corriente continua) que fluyen al cerrar el circuito con una carga externa.

7.2. Antecedentes

Hace 40 años, las células fotovoltaicas (PV) eran conocidas como fuente de energía para los satélites. En la primera crisis energética en 1970, creció el interés en su desarrollo para aplicaciones terrestres, lográndose un perfeccionamiento técnico y una bajada considerable de precios en un porcentaje superior al 20%.

Actualmente la generación de energía con células fotovoltaicas es competitiva en su aplicación en lugares remotos alejados de la red eléctrica, en potencias de unos pocos KW. Tiene interés la incorporación de módulos de PV en edificios residenciales, donde no sólo generan energía sino que también se convierten en elementos estructurales, típicamente en tejados. Los módulos producen una corriente eléctrica continua que hay que transformar en alterna. Las baterías garantizan el consumo eléctrico en los periodos que no hay sol y guardan la electricidad no consumida. La electricidad sobrante puede alimentar la red eléctrica general y constituye un ahorro en la facturación eléctrica del edificio.

Los incentivos de los gobiernos para evitar el consumo de combustibles fósiles y el efecto invernadero del CO₂, han aumentado las aplicaciones de las células fotovoltaicas en los edificios de pueblos y grandes ciudades, con un crecimiento anual del orden del 25%. Cabe destacar que España es en la actualidad el primer productor mundial de energía fotovoltaica con una potencia instalada estimada de 3.200 MW por delante de Alemania que cuenta con unos 1.350 MW.

La energía fotovoltaica se contempla como una energía benigna con el medio ambiente, sin ruido ni polución química e ideal para ambientes urbanos, sustituyendo los materiales de fachadas y tejados y utilizada en parques, lagos y ríos.

Sin embargo, durante el proceso de fabricación de las células fotovoltaicas se producen emisiones por el gasto de combustibles fósiles. Se estima que cada KWh producido origina de 15 a 70 gramos de CO₂. Si el equipo sustituye a un generador diesel, el ahorro es significativo ya que este produce 700 gramos/KWh. Podemos decir que, por lo general, cada kWh fotoeléctrico ahorra alrededor de 400 g de CO₂, así que normalmente, se suelen tardar unos 13 años en compensar el saldo negativo de CO₂ producido en la fabricación, gracias al ahorro posterior que supone el uso de esta energía. Suponiendo que la vida útil de la instalación sea la establecida, que suele ser unos 40 años, entonces, teóricamente el saldo es positivo, y a la larga hemos producido menos CO₂ que consumiendo otro tipo de energía no renovable.



Cubierta con paneles solares fotovoltaicos

7.3. Normativa considerada

La preocupación mundial por el denominado cambio climático, originado por las emisiones de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero, provocados por la actividad humana, ha impulsado a las Naciones Unidas a impulsar el denominado proceso de Kyoto que se inició en Río de Janeiro en 1992 y cristalizó en el Acuerdo de Kyoto de 1997, que compromete a sus firmantes, individualmente o conjuntamente, a que el total de sus emisiones equivalentes de CO₂, a causa de las actividades humanas, deberán reducirse un 5%, respecto a los niveles emitidos en el año 1990, durante el periodo 2008 - 2010.

La firma del Protocolo de Kyoto y la concienciación de la necesidad de reducir las emisiones de CO₂, ha llevado a la Unión Europea a fijarse como objetivo la reducción de emisiones de CO₂ en un 8% para el periodo de 2008 - 2010.

Dentro del ámbito del Estado Español, destacamos dos leyes a las cuales vamos hacer uso:

- La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del sector eléctrico (<<BOE>> de 28-11-1997), que regula la producción de energía eléctrica en régimen especial, previendo un régimen de incentivos para las energías renovables.

- El Real Decreto 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración (<<BOE>> de 30-12-1998) estableció el procedimiento administrativo para acoger las instalaciones dentro de este régimen especial y determinó el régimen económico aplicable a éstas.

- La instalación cumplirá con todo lo establecido, en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, REBT (RD 842/2002, de 2 de agosto, publicado en el <<BOE>> de 18 de septiembre de 2002, suplemento del núm, 224).

- El Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, por lo que se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial.

7.4. Tipos de instalaciones

A) Conectadas a red

La finalidad de conectar a la red eléctrica una instalación fotovoltaica es poder vender toda la producción para que, progresivamente, el porcentaje de energía limpia que se consume de la red vaya ampliándose.

Conectando una instalación fotovoltaica a la red eléctrica convencional conseguimos convertirla en una pequeña central productora. El gobierno obliga a las grandes compañías eléctricas a comprar la energía producida y a distribuirla en el mercado. Así se consigue que

los usuarios puedan consumir de la red una parte de energía que proviene de fuentes renovables.

El precio de venta de la energía producida está subvencionado y llega hasta 5,75 veces el precio de compra base. Así, el propietario de la instalación puede amortizar mucho más rápido la inversión y tener beneficios.

El precio de compra de la energía eléctrica producida depende de la potencia de la instalación:

Potencia no superior a 100 kWp:

Precio de venta 5,75 veces el precio de compra. El kWh queda a 0,41€.

Potencia superior a 100 kWp:

Precio de venta 3 veces el precio de compra. El kWh queda a 0,21€.

Cabe mencionar que una instalación de 100 kWp tiene una superficie equivalente de 813 m² de paneles solares fotovoltaicos.

B) Instalaciones aisladas

En viviendas rurales o refugios aislados donde no llega la red de distribución eléctrica se tiene que recurrir a un sistema de producción autónomo.

Un sistema fotovoltaico completo, con gran capacidad de acumulación, garantiza un suministro fiable hasta tres días con ausencia de sol, y con una inversión mucho inferior al coste de hacer llegar la red eléctrica al emplazamiento.

Para conseguir un suministro de corriente absolutamente fiable, puede incorporarse al sistema un grupo electrógeno de apoyo. Así se garantiza que, en el caso que los acumuladores se queden sin energía, el sistema pueda seguir suministrando electricidad.

C) Otras aplicaciones

- Instalaciones de telecomunicación
- Señalización de carreteras
- Alumbrado público
- Instalaciones de seguridad autónomas

7.5. Funcionamiento de la instalación

Una instalación fotovoltaica está compuesta por un grupo generador, formado por una extensión de paneles solares fotovoltaicos, un regulador de carga, un grupo acumulador y un inversor.

Durante las horas de insolación, los paneles fotovoltaicos producen energía eléctrica en forma de corriente continua que es almacenada en los acumuladores. En los momentos de consumo energético, los acumuladores suministran ésta electricidad, teniendo que ser transformada en corriente alterna por el inversor, a los receptores.

7.6. Elementos que componen la instalación

A) Panel solar fotovoltaico

Es el encargado de transformar la energía que nos llega del sol en energía eléctrica. Para ello se basa en el efecto fotoeléctrico, y necesita que los rayos del sol incidan perpendicularmente en su superficie. Pueden llegar a tener una vida útil de hasta 40 años.

B) Regulador de carga

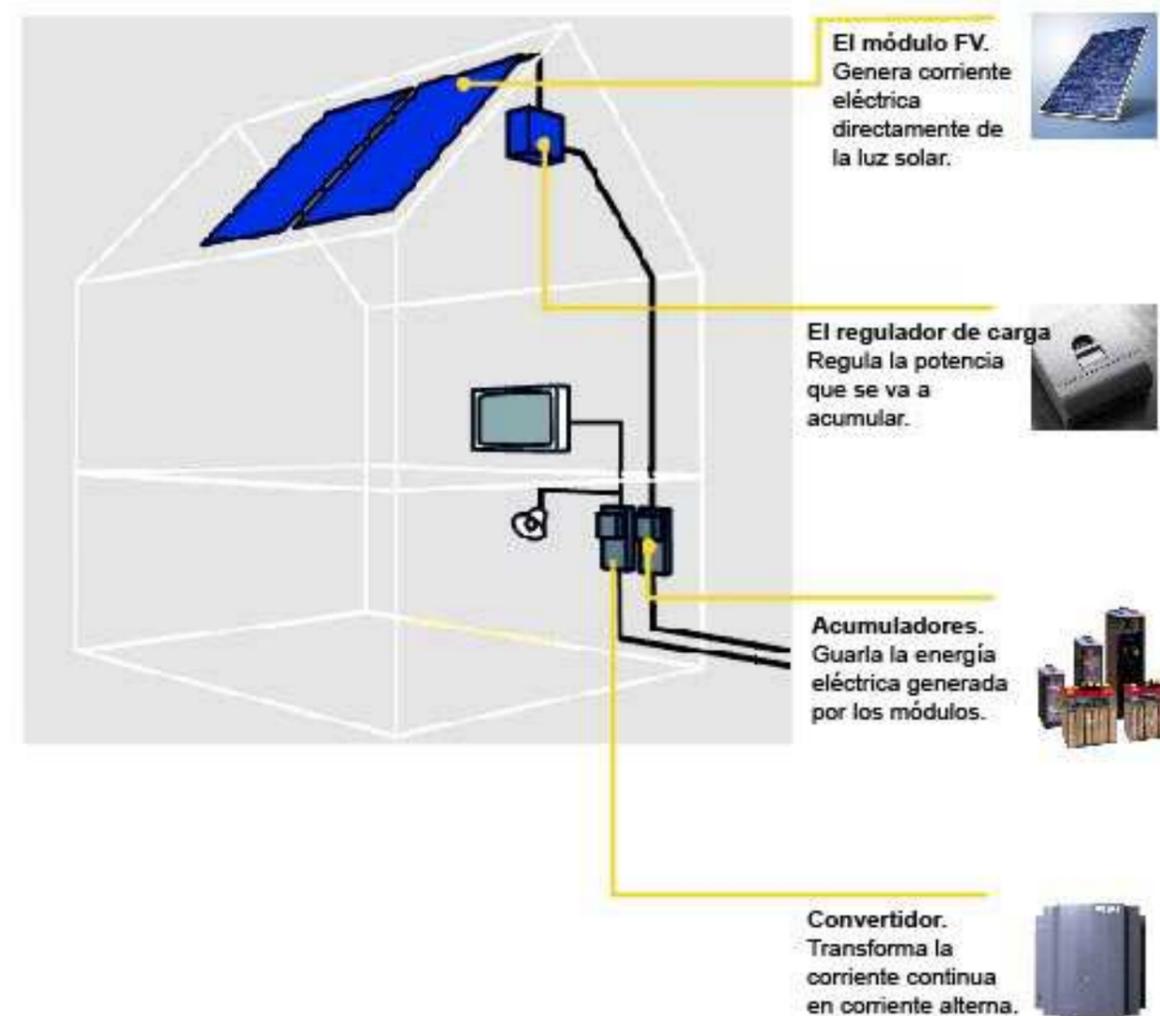
Su función principal es la de proteger a los acumuladores de una sobrecarga cuando éstos están totalmente cargados. También los protegen de una sobredescarga, ya que cuando están muy descargados, ceder un poco de carga significa un daño irreparable.

C) Acumulador

Almacena energía eléctrica que, como las baterías de un coche, puede devolver cuando el usuario lo requiera.

D) Inversor

Su finalidad es la de transformar la corriente continua proveniente de los acumuladores en corriente alterna para el uso doméstico, ya que es el tipo de corriente más normalizado en el mundo. Además, con un inversor se consiguen valores de voltaje estables.



Esquema de funcionamiento de una instalación de energía solar fotovoltaica

E) Las estructuras de soporte y los elementos para fijar los módulos fotovoltaicos

Son parte importante de este tipo de instalaciones ya que servirán para fijar los paneles fotovoltaicos a la superficie pertinente y darle la inclinación adecuada a dichos módulos. Si no se diseñase una estructura adecuada, si hubiesen vientos fuertes las placas podrían salir despedidas, ya que tienen poco peso y ocupan una superficie considerable, por lo que un buen diseño de estas estructuras es importante. Al igual que la inclinación, ya que dependiendo la época del año en la que más se use este tipo de instalación, deberá tener una inclinación u otra. En nuestro caso la inclinación debería ser superior a 20°, ya que se usará durante todo el año.

7.7. Dimensionado de la instalación

Existen distintos métodos para calcular la dimensión de las instalaciones solares fotovoltaicas. En este proyecto usaremos el método propuesto por el Instituto Catalán de la Energía (ICAEN), el cual se basa principalmente en generar cada día la cantidad de energía que se prevé consumir, analizando los rendimientos globales de la instalación, sin entrar en un detalle excesivo de los distintos elementos de los componentes.

Para decidir cual ha de ser la dimensión de una instalación fotovoltaica hace falta tener en cuenta básicamente los siguientes conceptos:

- Datos de partida:

- Necesidades a cubrir.
- Energía necesaria.
- Radiación incidente (hsp).

- Datos a calcular:

- Número de módulos necesarios.
- Capacidad del acumulador.
- Sección de cable necesario.
- Tipos de equipos auxiliares necesarios.

A) Datos de partida

En nuestro caso las necesidades a cubrir ya las sabemos, ya que lo que necesitamos es proporcionar la energía necesaria para el funcionamiento del sistema geotérmico. Sabiendo que la potencia de las bombas de calor geotérmicas es de 78 KW y que el 78% de la energía se extrae de la tierra, tan solo necesitaremos producir el 22% de la potencia total, con lo que necesitaremos cubrir una potencia de **17,16 kW**.

Sabiendo que las máquinas no funcionan durante todo el tiempo y tampoco lo van a soler hacer a su máxima potencia, realizaremos el estudio teniendo en cuenta que el horario de trabajo en nuestro espacio de oficinas es de 8 de la mañana a 3 de la tarde, es decir, 7 horas, y que las bombas trabajarán a un 65% de su potencia como promedio. Por lo tanto:

$$17,16 \text{ kW} = 17.160 \text{ W} \times 0,65 = 11.154 \text{ W} \times 7 \text{ horas} = \mathbf{78.078 \text{ Wh}}$$

Seguidamente para saber la energía que deberán producir nuestros paneles para alcanzar la energía de consumos encontrada, aplicaremos un factor de rendimiento global en nuestros cálculos. Como lo que queremos es producir corriente alterna utilizaremos un factor de 0'75. Si fuese corriente continua utilizaríamos 0'8 como factor.

$$\text{Energía} = \frac{\text{Total energía de consumo}}{\text{Rendimiento global de la instalación}} = \frac{78.078 \text{ Wh}}{0,75} = 104.104 \text{ Wh/día}$$

La tabla de radiación incidente en Sabadell según la inclinación de los paneles es la siguiente, así que viendo las posibilidades que existen hemos decidido utilizar una inclinación de 50° ya que consideramos que es la más adecuada.

MJ/m2/día													
Inclinación:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
0	6,8	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,4	7,73	6,04	15,04
5	7,7	10,56	14,72	19,15	22,58	24,21	23,63	20,93	16,85	12,32	8,66	6,94	15,71
10	8,56	11,41	15,47	19,67	22,78	24,25	23,74	21,31	17,54	13,17	9,55	7,8	16,29
15	9,37	12,19	16,14	20,07	22,84	24,13	23,7	21,59	18,13	13,95	10,38	8,61	16,78
20	10,12	12,9	16,7	20,35	22,76	23,87	23,52	21,76	18,61	14,63	11,15	9,37	17,17
25	10,81	13,52	17,17	20,51	22,6	23,48	23,24	21,8	18,98	15,23	11,85	10,07	17,46
30	11,43	14,07	17,52	20,54	22,32	23,02	22,86	21,71	19,23	15,73	12,47	10,71	17,65
35	11,97	14,52	17,77	20,45	21,9	22,43	22,34	21,48	19,36	16,13	13,01	11,28	17,73
40	12,44	14,88	17,91	20,23	21,35	21,7	21,69	21,12	19,37	16,43	13,47	11,77	17,71
45	12,83	15,15	17,94	19,89	20,67	20,84	20,9	20,63	19,26	16,63	13,85	12,19	17,58
50	13,14	15,32	17,86	19,43	19,87	19,86	20	20,02	19,03	16,72	14,13	12,53	17,33
55	13,36	15,4	17,67	18,85	18,95	18,77	18,97	19,29	18,68	16,71	14,32	12,78	16,98
60	13,49	15,37	17,36	18,16	17,92	17,6	17,84	18,44	18,22	16,59	14,42	12,95	16,53
65	13,53	15,25	16,95	17,36	16,83	16,41	16,71	17,48	17,65	16,36	14,42	13,04	16
70	13,49	15,03	16,44	16,46	15,7	15,14	15,48	16,43	16,97	16,03	14,33	13,03	15,38
75	13,35	14,72	15,83	15,47	14,48	13,78	14,18	15,35	16,19	15,6	14,14	12,94	14,67
80	13,13	14,31	15,12	14,41	13,18	12,36	12,8	14,17	15,31	15,08	13,86	12,77	13,87
85	12,82	13,81	14,32	13,29	11,82	10,93	11,35	12,93	14,34	14,45	13,5	12,51	13
90	12,43	13,23	13,44	12,11	10,41	9,57	9,99	11,62	13,3	13,74	13,04	12,16	12,08

Una vez escogida la inclinación pasaremos los datos a kWh / m² día (hsp), ya que son las unidades que utilizaremos para sacar el número de paneles solares necesarios. Por lo tanto, si sabemos que 1 kWh = 3,6 MJ, tendremos lo siguiente:

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación a 50° (MJ/m²/día)	13.14	15.32	17.86	19.43	19.87	19.86
Radiación a 50 ° hsp	3,65	4,26	4,96	5,4	5,52	5,52

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación a 50° (MJ/m²/día)	20	20.02	19.03	16.72	14.13	12.53
Radiación a 50 ° hsp	5,56	5,56	5,29	4,64	3,93	3,48

Para los siguientes cálculos tomaremos la radiación del mes más desfavorable (diciembre): **3,48 hsp**

B) Número de paneles fotovoltaicos

El número de paneles necesarios quedará determinado por la siguiente fórmula:

$$\text{Número de módulos} = \frac{\text{Energía necesaria (Wh/día)}}{\text{Potencia pico del módulo (Wp) x Radiación (hsp/día)}}$$

Dadas las necesidades escogeremos un panel que nos suministre bastante potencia como es el Módulo Policristalino IBPS-230 de IBERSOLAR, que tiene una potencia pico de 230 Wp. Por lo tanto tendremos que:

$$\text{Número de módulos} = \frac{104.104 \text{ Wh/día}}{230 \text{ Wp} \times 3,48 \text{ hsp/día}} = 130 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

Por lo que necesitaremos **130 paneles fotovoltaicos**.

C) Capacidad del acumulador

Para calcular la capacidad del acumulador necesitaremos saber los días de autonomía que necesitará nuestra instalación para funcionar correctamente, y como sabemos que sólo necesitaremos usar la climatización en nuestras oficinas los días laborales, contaremos que los días de autonomía deben ser 5. Una vez determinada la autonomía podemos calcular la capacidad de la batería con la siguiente expresión:

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{\text{Energía necesaria x días de autonomía}}{\text{Voltaje x Profundidad de descarga de la batería}}$$

Dicho esto sabemos que necesitamos saber el voltaje y la profundidad de descarga de la batería. Para esto hemos escogido la batería monobloque FS 250 de IBERSOLAR, que tiene un voltaje de 12 V, una profundidad de descarga de 0,6, como todas las baterías monobloque, y una capacidad de 250 Ah suministrados en ciclos de descarga de 100 horas (C100).

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{104.104 \text{ Wh/día} \times 5 \text{ días}}{12 \text{ V} \times 0,6} = 72.294 \text{ Ah}_{(C100)}$$

Por lo que sabiendo la capacidad de la batería escogida tenemos que:

$$\text{Número de baterías} = \text{Capacidad total} / \text{Capacidad batería} =$$

$$= 72.294 \text{ Ah} / 250 \text{ Ah} = \mathbf{290 \text{ baterías}}$$

Después de ver este resultado podemos comprobar que **el uso de este tipo de instalación para el autoconsumo es inviable así como imposible de rentabilizar**, como podemos comprobar si hacemos un rápido cálculo. Primeramente es inviable ya que no

disponemos de ningún espacio adecuado donde ubicar 290 baterías de este tipo, las cuales tienen unas dimensiones de 518x291x242 mm cada una, además de la peligrosidad que supone contar con un espacio de estas características debido a la composición de dichas baterías. Y por otra parte, tan sólo contando el precio de los paneles fotovoltaicos, que es de 900 euros cada uno, y las baterías, que cuestan 460 euros cada una, y dejando de lado el resto de costes de la instalación, ya tendríamos un gasto de más de 250.000 €, lo cual resulta imposible de amortizar. **Por lo tanto queda descartada la opción de realizar este tipo de instalación para autoconsumo, y seguiremos con la propuesta suponiendo que la electricidad producida se le venderemos a la compañía, cosa que sí que resultaría rentable, como vamos a comprobar a continuación.**

D) Sección de cable necesario

La sección de cable a la intemperie entre los módulos fotovoltaicos será de **4 mm²**, tal y como indica el fabricante en las fichas técnicas adjuntas. Y la longitud de este cable será de 2 metros por panel, por lo tanto tendremos 260 metros de longitud de cable de este tipo. En cambio para saber la sección del cable entre el campo fotovoltaico y el inversor, tendremos que hacer el siguiente cálculo, sabiendo que la distancia entre éstos será de 10 metros aproximadamente según plano:

$$\text{Sección de cable de cobre} = \frac{200 \times 0,0172 \times \text{longitud del cable} \times \text{intensidad}}{\% \text{ caída de tensión} \times \text{Voltaje}}$$

Sabemos que la caída de tensión en este tipo de instalación suele ser del 3% y que el voltaje será de 24 V. Para calcular la intensidad tenemos que saber la disposición que tendrán nuestros 130 paneles fotovoltaicos y cual es la mejor opción. Después de analizar nuestro caso se ha decidido disponer los paneles en 13 grupos de 10 paneles cada uno, conectados en serie. También necesitamos saber la intensidad que pasa por cada panel, cosa que sabemos según la ficha técnica, y equivale a 8,45 Amperios, por lo tanto tendremos que la intensidad total será de:

$$10 \text{ paneles} \times 8,45 \text{ A} = 84,5 \text{ A}$$

Con lo que la sección de cable necesaria será de:

$$\text{Sección de cable de cobre} = \frac{200 \times 0,0172 \times 10 \text{ m} \times 84,5 \text{ A}}{3 \times 24} = 40,37 \text{ mm}^2$$

Por lo tanto, la sección de cable que usaremos para unir el campo fotovoltaico con el inversor será de **50 mm²**.

E) Cálculo del inversor

Como sabemos que nuestra potencia pico será de 17,16 kW, la potencia del inversor vendrá determinada por este dato automáticamente, por lo tanto, escogeremos el inversor trifásico TRIPLELYNX de IBERSOLAR, que abarca 10kW, del cual tendremos que usar dos unidades.

7.8. Integración arquitectónica

El mayor impacto de una instalación de este tipo es el impacto visual, ya que ocuparía gran parte de la cubierta de nuestro edificio, pero precisamente al estar ubicadas en la cubierta, podemos decir que el impacto visual es mínimo.

7.9. Impacto ambientalA) Ventajas

Utilizando energía solar fotovoltaica contribuimos a reducir el consumo y la dependencia de las energías fósiles, reduciendo a su vez las emisiones de gases derivados de su combustión y causantes del efecto invernadero.

Las energías fósiles son un recurso agotable ya que se consumen a un ritmo mucho superior al que se producen de forma natural.

Aprovechando la energía del sol, en cambio, se presenta un sistema de producción de energía sostenible, se consume la energía que diariamente produce el sol.

B) Inconvenientes

Como ya se ha mencionado en el estudio, durante el proceso de fabricación de las células fotovoltaicas, se producen emisiones por el gasto de combustibles fósiles. Se estima que cada kWh producido ha originado de 15 a 70 gramos de CO₂ en el proceso de su fabricación, por lo que es necesario cierto tiempo para compensar estas pérdidas.

7.10. Presupuesto

Para asegurarnos de que el presupuesto se ajusta a la realidad nos hemos puesto en contacto con la empresa suministradora de equipos fotovoltaicos IBERSOLAR, la cual ha verificado como correcto lo aquí descrito.

Nº	Unidades	Descripción	Coste (€)
1	130	Módulo fotovoltaico policristalino IBPS-230	117.000
2	2	Inversor trifásico Triplelinx – 10 kW	10.000
3	260 m	Cable exterior de 4 mm²	260
4	10 m	Cable exterior de 50 mm²	25
5	130	Estructura de soporte de panel fotovoltaico	6500
6	-	- Pequeño material de instalación y elementos adicionales - Mano de obra - Transporte de todos los componentes - Diseño del proyecto ejecutivo de la instalación	27.000
PRESUPUESTO TOTAL			160.000 €

7.11. Amortización

Como hemos explicado en el apartado de características del edificio, el gasto medio anual para climatizar nuestro espacio es de 13.486 €, y la instalación de energía geotérmica tan sólo consume un 22% respecto a la antigua instalación, por lo que el gasto eléctrico con geotermia sería de 3.327 € anuales, como hemos podido comprobar en el apartado correspondiente. Si el coste de la nueva instalación fotovoltaica es de 160.000 €, con la que produciríamos 104,104 kWh al día, y la compañía nos paga a 0,41 € el kWh, tenemos lo siguiente:

$104,104 \text{ kWh/día} \times 0,41 \text{ €/kWh} \times 365 \text{ días} = 15.579 \text{ €}$ que nos proporcionaría esta instalación anualmente trabajando a la máxima potencia en unas condiciones óptimas.

Como suponemos que este equipo no va a poder trabajar a su máxima potencia constantemente ya que las condiciones no van a ser siempre las óptimas, vamos a aplicar un factor de rendimiento del 0,75 %, que nos ayudará a aproximarnos a un resultado más real:

$15.579 \text{ €} \times 0,75 = \mathbf{11.684 \text{ €}}$ que nos proporcionará esta instalación anualmente

Por lo tanto:

$160.000 \text{ €} / 11.684 \text{ €} = \mathbf{13,69 \text{ años}}$ que tardaremos en amortizar la nueva instalación. A partir de ese momento, esta instalación nos permitiría compensar notablemente el gasto eléctrico de la instalación geotérmica gracias a lo que ganamos con la venta de la electricidad que producimos a la compañía.

7.12. Inversión subvencionada

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) otorga ayudas a fondo perdido de hasta un 20% del presupuesto de la instalación para particulares. Además, conjuntamente con el Instituto Oficial de Crédito, ofrecen financiación bonificada (interés nominal dos puntos por debajo del interés bancario) de hasta el 70% del presupuesto de la instalación.

También se otorgan subvenciones de organismos de administraciones Municipales, Autonómicas y Comunitarias.

Así que suponiendo que el ICO y el IDAE nos otorguen una ayuda del 20% del coste total de nuestra instalación, tendríamos que el coste real sería de:

$160.000 \text{ €} \times 0,8 = 128.000 \text{ €} / 11.684 \text{ € anuales} = \mathbf{10,95 \text{ años que tardaríamos en amortizar esta instalación.}}$

7.13. Mantenimiento

Para englobar las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones de actuación:

- a) plan de vigilancia
- b) plan de mantenimiento preventivo

A) Plan de vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación son correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales (energía, tensión etc.) para verificar el correcto funcionamiento de la instalación, incluyendo la limpieza de los módulos en el caso de que sea necesario.

B) Plan de mantenimiento preventivo

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico especializado que conozca la tecnología solar fotovoltaica y las instalaciones eléctricas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento preventivo ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles ó desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

El mantenimiento preventivo de la instalación incluirá, al menos, una revisión semestral en la que se realizarán las siguientes actividades:

- a) comprobación de las protecciones eléctricas.
- b) comprobación del estado de los módulos: comprobar la situación respecto al proyecto original y verificar el estado de las conexiones.
- c) comprobación del estado del inversor: funcionamiento, lámparas de señalizaciones, alarmas, etc.
- d) comprobación del estado mecánico de cables y terminales (incluyendo cables de tomas de tierra y reapriete de bornes), pletinas, transformadores, ventiladores/extractores, uniones, reaprietes, limpieza.

8. Propuesta 3: Instalación de energía solar térmica

8.1. ¿Qué es la energía solar térmica?

Llamamos instalación solar térmica a todo sistema destinado a convertir la radiación solar en calor útil, que se utilizará para conseguir la calefacción de un espacio, la producción de agua caliente sanitaria o la climatización de piscinas, entre otras posibilidades.

Estos sistemas, de forma general, requieren el acoplamiento de tres subsistemas principales que explicaremos más adelante:

- Subsistema colector
- Subsistema acumulador
- Subsistema de consumo

El funcionamiento de los tres subsistemas está condicionado por la climatología del lugar en que se encuentre situada la instalación, fundamentalmente de la radiación solar y la temperatura ambiente.

8.2. Antecedentes

A principios del siglo XX, se desarrolló el colector solar plano, capaz de captar la energía calorífica del sol, y utilizándose para calentar el agua hasta temperaturas de 80 grados centígrados.

Durante los años 70, como resultado de la crisis energética mundial, acabó desarrollándose comercialmente la energía solar térmica, hasta que a mediados de 1980, la bajada de los precios del petróleo frenó el interés del público en su aplicación. Entonces, aparecieron los colectores de tubo al vacío, más caros, pero de mayor rendimiento que las placas planas equivalentes. Desde ese momento, el crecimiento ha sido espectacular.

Actualmente, en muchos países hay subvenciones para el uso doméstico de energía solar, en cuyos casos una instalación doméstica puede amortizarse en unos 5 o 6 años. El 29 de septiembre de 2006 entró en vigor en España el Código Técnico de la Edificación, que establece la obligatoriedad de implantar sistemas de agua caliente sanitaria (ACS) con energía solar en todas las nuevas edificaciones, con el objetivo de cumplir con el protocolo de Kioto, pero que olvida la calefacción, que se recoge en las ordenanzas solares de los Ayuntamientos.

En el mundo, la distribución de la radiación solar registra grandes variaciones geográficas, pues va desde 2 kWh al día por m² en el norte de Europa a 8 kWh por m² en el desierto del Sahara.

España es un país privilegiado dentro de Europa, pues aquí se conjugan todos los requisitos para lograr un máximo aprovechamiento de la energía solar: radiación elevada, veranos cálidos, inviernos suaves y poca nubosidad. Pese a esto, en países como Alemania,

Austria, Japón, Israel, Chipre o Grecia, el uso de la energía solar térmica está mucho más avanzado que aquí.

Dentro de la actual tendencia de avanzar en el uso de las energías renovables, la energía solar térmica y su uso en la generación de agua caliente en instalaciones tanto unifamiliares como colectivas -tales como bloques de viviendas, residencias de la tercera edad, polideportivos, campings, hoteles, etc.-, es una de las aplicaciones prácticas que previsiblemente más podrán usarse dentro del marco urbano para reducir la emisión de gases contaminantes y disminuir la dependencia de los combustibles fósiles.



Cubierta con colectores solares térmicos

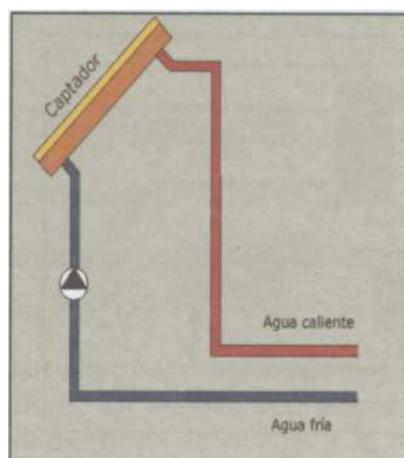
8.3. Normativa considerada

- Documento Básico HE sobre el ahorro de energía. Código Técnico de la Edificación.
- Ordenanza municipal del Ayuntamiento de Sabadell sobre la incorporación de sistemas de captación de energía solar para usos térmicos en las edificaciones.

8.4. Tipos de sistemas

A) Sistemas abiertos

Sólo disponen de un circuito de circulación de fluido térmico. Suele ser agua que es utilizada directamente para el consumo sanitario o para el calentamiento de piscinas descubiertas. El sistema presenta un buen rendimiento energético y un mantenimiento sencillo, con el inconveniente de posibles heladas en climas fríos.

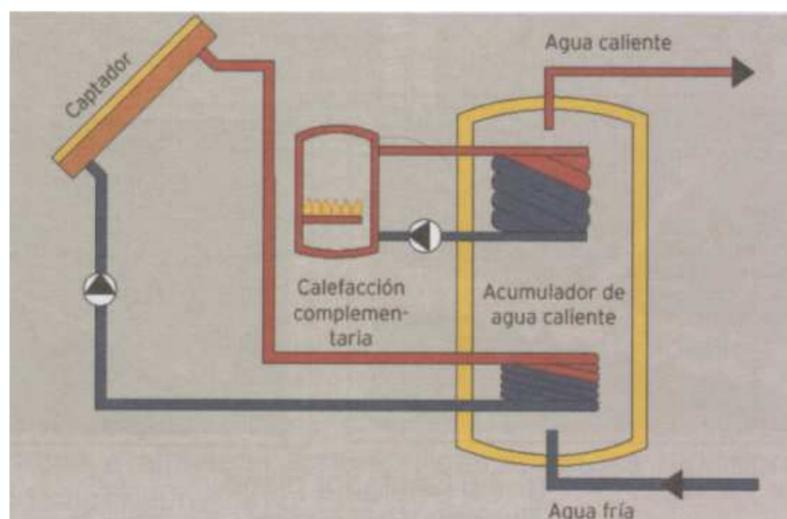


Sistema abierto

B) Circuitos cerrados

Consiste en dos circuitos independientes (primario y secundario) en contacto térmico a través de un intercambiador de calor, que mantienen separados el fluido térmico que circula por los captadores y el agua de consumo.

El fluido térmico, que suele ser agua, contiene anticongelantes para poder adaptarse a los climas fríos. El intercambiador de calor se pone en funcionamiento, mediante termostatos, cuando hay 5°C de diferencia entre el circuito primario y el secundario. Si la temperatura de salida del agua de consumo es menor del valor deseado es necesario añadir una fuente de calor de soporte (caldera de gas, gas-oil o de resistencia eléctrica).



Sistema cerrado

8.5. Elementos que componen la instalación

Como hemos dicho, estos tipos de instalación están formados por tres subsistemas importantes: el colector, el de acumulación y el de consumo.

A) El colector solar

Los colectores solares más comunes son los denominados planos. Están constituidos por una placa absorbente, que debe ser oscura para tener el máximo índice de absorción de calor y el mínimo de reflexión, esto es, aprovechar al máximo la energía de los rayos del sol y minimizar las pérdidas.

Soldado a la placa, un serpentín de tubos de cobre se calienta con el calor que le transmite la placa y que, seguidamente, calienta el líquido que fluye por su interior. Estos elementos están protegidos por un cristal muy resistente, para soportar una buena granizada, y con bajo contenido en hierro para tener el máximo índice de transparencia (menores pérdidas por reflexión y absorción).

Todo el conjunto está perfectamente aislado con poliuretano o fibra de vidrio, para reducir al máximo las pérdidas.

Cabe mencionar que el fluido que circula por dentro del serpentín es anticongelante y no agua, como podría parecer, protegiendo así al captador de posibles heladas.

Colectores solares de tubos de vacío

Los colectores solares de vacío incluyen una innovación: se ha hecho el vacío en el espacio que queda entre el cristal protector y la superficie absorbente. Con este cambio se consiguen eliminar las pérdidas por convección interna, ya que internamente no hay aire que pueda transferirlas, y aumentar así la temperatura de trabajo y el rendimiento.

La forma de estos captadores ya no es plana, sino cilíndrica, ya que permite efectuar mejor el vacío en su interior. Además, los colectores de tubos de vacío permiten la integración de concentradores cilíndrico-parabólicos (CPC) con lo que se consigue mejorar el rendimiento durante las estaciones en que los rayos solares no inciden en el ángulo óptimo.

También permiten adaptarse mejor a aquellos casos en que no pueden colocarse a la inclinación o dirección óptimas, donde los paneles planos tendrían muy poco rendimiento. Esta propiedad hace que los captadores de tubo de vacío CPC puedan integrarse perfectamente a la arquitectura.

Colector solar termosifónico

Si se quiere ahorrar al máximo en la producción de agua caliente sanitaria, los equipos termosifónicos no consumen energía eléctrica, ya que funcionan sin bomba.

Esta capacidad ayuda a disminuir el consumo energético de una vivienda y convierte a los equipos en autónomos: siguen funcionando aunque el sistema eléctrico falle.

El hecho de ser autónomos hace muy atractiva su aplicación en aquellos lugares remotos donde no llega la red eléctrica. Así, se puede producir agua caliente aunque el grupo generador eléctrico esté desconectado.

Los equipos termosifónicos funcionan por gravedad. El sol calienta el fluido que está en su interior, éste aumenta de temperatura disminuyendo su densidad y fluye hacia la parte superior, dejando que el fluido más frío ocupe su lugar para calentarse.

B) Estructuras de soporte y elementos de fijación de los colectores

Son parte importante de este tipo de instalaciones ya que servirán para fijar los colectores a la superficie pertinente y darle la inclinación adecuada a dichos colectores. Al igual que la inclinación, ya que dependiendo la época del año en la que más se use este tipo de instalación, deberá tener una inclinación u otra. En nuestro caso la inclinación debería ser superior a 20°, ya que se usará durante todo el año.

C) Acumulador de agua

El acumulador es el depósito donde se acumula el agua que posteriormente se destina al consumo doméstico, bien para grifos y ducha, bien para el sistema de calefacción. El acumulador suele ser también calentador, ya que el sistema que acumula el agua se encuentra en su interior.

Los acumuladores de agua caliente son un elemento clave en la instalación, ya que permiten almacenar el agua calentada durante el día para ser consumida cuando convenga. Gracias a ellos se puede disponer de agua caliente durante las 24h del día, y por eso tienen que estar muy bien aislados.

Un acumulador está formado por un depósito con un serpentín en el interior, por el que circula el fluido caliente que procede de los captadores solares y que cede el calor al agua que lo rodea, y perfectamente aislado con espuma dura y poliestireno.

Otra conformación de los acumuladores es el doble envoltorio, un depósito dentro de otro. En el interior se aloja el agua a calentar y por el exterior circula el fluido caliente procedente de los captadores solares. De esta forma se obtiene una mayor superficie de contacto.

Los acumuladores permiten integrar perfectamente la energía solar térmica a un sistema de calefacción a gas o gas-oil, siendo el elemento en el que confluyen los aportes energéticos de los captadores y la caldera.

Para ello se utilizan acumuladores con doble serpentín, el inferior para el líquido procedente de los captadores solares (a menor temperatura) y el superior para agua procedente de la caldera (a mayor temperatura); o acumuladores de doble envoltorio estratificados, donde el depósito exterior está dividido por zonas a distinta temperatura, la inferior para solar térmica y la superior para la caldera.

D) Intercambiador

Es el dispositivo por el cual se transmite el calor generado en los colectores hacia el agua que posteriormente vamos a usar. En sistemas solares térmicos, suele ser un tubo con forma de serpentín, -situado dentro del tanque acumulador o calentador-, a través del cual discurre el agua caliente proveniente de los colectores. El agua a consumir entra en contacto con ese serpentín y recibe el calor.

E) Caldera

Todo sistema de energía solar térmica necesita de un equipo auxiliar que suministre la potencia necesaria cuando el Sol no alcanza a cubrir la demanda. Suelen usarse calderas de gas o gasóleo de alto rendimiento.

F) Sistema de bombeo

Circuito hidráulico que consta de bomba hidráulica, diferentes tipos de válvulas y tuberías. Generalmente existen dos circuitos diferentes: el primario, que es aquel por el que circula el fluido que se calienta dentro de los colectores, y el secundario, que es el formado por el agua de consumo.

G) Sistema de control

Sistema que controla la temperatura y el correcto funcionamiento de la instalación. Puede llegar a alcanzar un alto grado de sofisticación, llegando incluso a enviar correos electrónicos a la dirección pertinente en caso de avería.

En principio, con la energía solar térmica, no se puede producir frío, pero, aunque parezca contradictorio, puede generarse frío a partir de calor. Este hecho es muy atractivo, ya que es en verano cuando mayor demanda de frío hay y mayor disponibilidad de energía solar térmica se presenta. Es posible refrigerar una vivienda con la misma instalación con la que se calienta en invierno.

8.6. La máquina de absorción

La máquina de absorción fue inventada en 1859 y el sistema de funcionamiento es muy parecido al de un refrigerador o bomba de calor. Básicamente se sustituye el compresor mecánico por un sistema térmico de evaporación y absorción, quedando igual el circuito del refrigerante.

Acoplado un refrigerador por absorción a una instalación solar térmica se conseguiría, además de agua caliente y calefacción en invierno, agua caliente y refrigeración en verano. Pero esta opción presenta algunos inconvenientes.

La tecnología de absorción permite aprovechar el calor de un fluido a 70 – 95 °C para generar frío, presentando un coeficiente de eficiencia COP muy fuertemente ligado a la temperatura. El COP oscila entre 0,7 i 1,4 según la temperatura del fluido caliente esté en el límite inferior o superior.

Los captadores solares, al depender del sol, no pueden garantizar un suministro constante de agua caliente a la temperatura deseada. Para garantizar la potencia frigorífica necesaria de una vivienda, tendrá que sobredimensionarse el equipo de absorción e instalarse una caldera de apoyo para calentar el fluido caliente cuando no llegue a la temperatura deseada.

Los colectores solares de tubos de vacío son los más apropiados para conseguir una temperatura óptima para el funcionamiento de la instalación, pero mucho más caros que los captadores planos.

El coste de una máquina de absorción ya es elevado de por sí. A este tendrá que sumársele el de la instalación y de sus componentes, así como el del consumo de combustible del calentador de apoyo.

Además, la instalación necesita una torre de refrigeración, un elemento conflictivo en la actualidad por ser lecho de cultivo de legionela y que necesita mantenimiento constante y una ubicación especial.

Todo esto hace que la utilización de este sistema no sea la mejor forma de refrigerar utilizando energías renovables, por ser poco económica, con una elevada inversión inicial, y tener la necesidad de mantenimiento constante.

Los equipos de aire acondicionado o bomba de calor convencionales consiguen mejor coeficiente de eficiencia COP, con lo que el ahorro energético es mucho mayor. Además, el coste de inversión y mantenimiento es más bajo, y su tecnología más extendida en el mercado. Por lo tanto descartaremos la opción de la máquina de absorción y realizaremos el estudio en base a la época de calefacción de nuestro espacio, es decir, medio año aproximadamente.

8.7 Funcionamiento de la instalación

Una instalación de energía solar térmica concentra el calor del Sol acumulado en unos paneles denominados colectores y la transmite, bien al agua corriente que usamos en nuestras casas para ducharnos, fregar, etc., bien al fluido usado para calefactar mediante radiadores, fan-coils o suelo radiante. Es por tanto, un ingenio que concentra y transmite el calor solar desde un sitio a otro, sin producir electricidad en ningún caso –al contrario que las placas fotovoltaicas, que sí generan corriente eléctrica.

Los colectores absorben este calor y lo concentran gracias al efecto invernadero creado en el interior de la placa, al aislamiento del medio exterior, y a la capacidad de absorción de los cuerpos, fomentado por el tratamiento químico al que se somete ciertas partes de la placa. En el interior de los colectores existe un circuito cerrado –circuito primario- por el cual discurre un fluido con anticongelante. Este líquido alcanza temperaturas superiores a 100° C en las placas con recubrimiento selectivo, que son el tipo que usamos, y se hace circular, siempre en circuito cerrado, hasta el interior de una cisterna llamada acumulador, donde el tubo adquiere forma de serpentín y entra en contacto directo con el agua que nosotros usaremos posteriormente en nuestra casa –circuito secundario-.

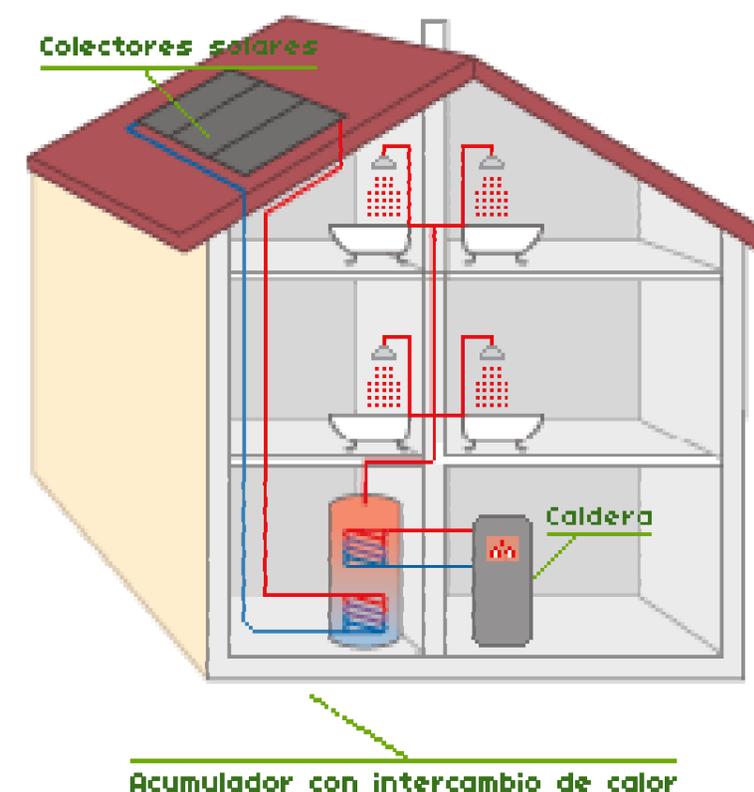
El calor del fluido que atraviesa el serpentín se transmite al agua destinada al consumo que la rodea, aumentando su temperatura. En caso de necesidad, por ejemplo en días nublados, se hace uso de un equipo generador auxiliar, generalmente una caldera de gas o gasóleo, para elevar la temperatura los grados que sea necesario. Según la actual normativa, el agua debe salir del acumulador a una temperatura de 60°C, para evitar peligro de legionella, aunque posteriormente es mezclada con agua fría para rebajar la temperatura hasta 45°C, que es la temperatura convencional de consumo.

Todo este proceso está controlado por un dispositivo electrónico central que es el que se encarga de automatizar y coordinar la circulación del agua del circuito primario cuando es necesaria mayor aportación térmica, controlar la temperatura de los colectores, garantizar la seguridad del sistema, e incluso en modelos más avanzados, de enviar un correo electrónico avisando de incidencias.

8.8 Integración arquitectónica

El mayor impacto de una instalación de este tipo es el impacto visual, ya que ocuparía gran parte de la cubierta de nuestro edificio, pero precisamente al estar ubicadas en la cubierta, podemos decir que el impacto visual es mínimo.

ESQUEMA DE INSTALACION DE ACS



8.9. Dimensionado de la instalación

El funcionamiento de una instalación de este tipo está condicionado por la climatología del lugar en que se encuentre situada la instalación, fundamentalmente de la radiación solar y la temperatura ambiente. Existen métodos de cálculo que partiendo de datos conocidos, permiten predecir los valores que tomarán estas variables en un momento determinado del año. Las predicciones así obtenidas no arrojan valores rigurosamente exactos, sino que presentan unas ciertas desviaciones con respecto a los valores reales; se trata, pues de variables que no son enteramente aleatorias ni enteramente determinísticas.

Este tipo de comportamiento de las variables, que influyen de forma importante sobre el funcionamiento de un sistema solar, hace que su análisis sea complicado. Por otra parte, debido al escaso desarrollo de las instalaciones solares, se requieren inversiones elevadas, lo que implica una optimización del diseño de los sistemas con el fin de obtener una rentabilidad adecuada.

Para dimensionar esta instalación haremos uso del sistema que nos propone el ICAEN, ya mencionado anteriormente en el apartado de energía fotovoltaica, el cual se basa principalmente en generar cada día la cantidad de energía que se prevé consumir, analizando los rendimientos globales de la instalación, sin entrar en un detalle excesivo de los distintos elementos de los componentes.

A) Cálculo de los colectores solares

Primeramente calcularemos las necesidades a cubrir, que en nuestro caso, ya las sabemos, y son 78 kW. Si sabemos que nuestro espacio a climatizar estará ocupado durante 7 horas, tenemos que:

$$78 \text{ kW} \times 7 \text{ horas} = 546 \text{ kWh}$$

Si lo pasamos a Megajoules, si sabemos que 1 kWh equivale a 3,6 MJ, tenemos que:

$$546 \text{ kWh} = 1.965,6 \text{ MJ que consumiremos al día}$$

Seguidamente decidimos cómo colocar las placas. Las colocaremos con una orientación 0° respecto al sur y a una inclinación de 50° para mejorar su rendimiento en los meses de invierno, con lo que los valores de la radiación que usaremos son los que aparecen en negrita en la siguiente tabla:

MJ/m2/día													
Inclinación:	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
0	6,8	9,65	13,88	18,54	22,25	24,03	23,37	20,42	16,05	11,4	7,73	6,04	15,04
5	7,7	10,56	14,72	19,15	22,58	24,21	23,63	20,93	16,85	12,32	8,66	6,94	15,71
10	8,56	11,41	15,47	19,67	22,78	24,25	23,74	21,31	17,54	13,17	9,55	7,8	16,29
15	9,37	12,19	16,14	20,07	22,84	24,13	23,7	21,59	18,13	13,95	10,38	8,61	16,78
20	10,12	12,9	16,7	20,35	22,76	23,87	23,52	21,76	18,61	14,63	11,15	9,37	17,17
25	10,81	13,52	17,17	20,51	22,6	23,48	23,24	21,8	18,98	15,23	11,85	10,07	17,46
30	11,43	14,07	17,52	20,54	22,32	23,02	22,86	21,71	19,23	15,73	12,47	10,71	17,65
35	11,97	14,52	17,77	20,45	21,9	22,43	22,34	21,48	19,36	16,13	13,01	11,28	17,73
40	12,44	14,88	17,91	20,23	21,35	21,7	21,69	21,12	19,37	16,43	13,47	11,77	17,71
45	12,83	15,15	17,94	19,89	20,67	20,84	20,9	20,63	19,26	16,63	13,85	12,19	17,58
50	13,14	15,32	17,86	19,43	19,87	19,86	20	20,02	19,03	16,72	14,13	12,53	17,33
55	13,36	15,4	17,67	18,85	18,95	18,77	18,97	19,29	18,68	16,71	14,32	12,78	16,98
60	13,49	15,37	17,36	18,16	17,92	17,6	17,84	18,44	18,22	16,59	14,42	12,95	16,53
65	13,53	15,25	16,95	17,36	16,83	16,41	16,71	17,48	17,65	16,36	14,42	13,04	16
70	13,49	15,03	16,44	16,46	15,7	15,14	15,48	16,43	16,97	16,03	14,33	13,03	15,38
75	13,35	14,72	15,83	15,47	14,48	13,78	14,18	15,35	16,19	15,6	14,14	12,94	14,67
80	13,13	14,31	15,12	14,41	13,18	12,36	12,8	14,17	15,31	15,08	13,86	12,77	13,87
85	12,82	13,81	14,32	13,29	11,82	10,93	11,35	12,93	14,34	14,45	13,5	12,51	13
90	12,43	13,23	13,44	12,11	10,41	9,57	9,99	11,62	13,3	13,74	13,04	12,16	12,08

Con la radiación disponible que tenemos calcularemos la radiación efectiva, que es la que en realidad tenemos debido a la poca intensidad de radiación en las franjas horarias del principio y final del día. Las pérdidas son del 6% aproximadamente, por lo que multiplicaremos la radiación efectiva por 0.94.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación disponible	13.14	15.32	17.86	19.43	19.87	19.86
Radiación efectiva	12.35	14.4	16.79	18.26	18.68	18.67

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación disponible	20	20.02	19.03	16.72	14.13	12.53
Radiación efectiva	18.8	18.82	17.89	15.72	13.28	11.78

Seguidamente calcularemos la Intensidad de radiación media diurna, que viene dada por la división entre la radiación efectiva y las horas de sol diarias por cada mes del año. El resultado lo daremos en W/m2.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación efectiva	12.35	14.4	16.79	18.26	18.68	18.67
Horas de sol al día	7.5	8	9	9.5	9.5	9.5
Intensidad radiación	457.41	500	518.21	533.92	546.2	545.91

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación efectiva	18.8	18.82	17.89	15.72	13.28	11.78
Horas de sol al día	9.5	9.5	9	9	8	7
Intensidad radiación	549.71	550.3	552.16	485.19	461.11	467.46

Una vez calculada la Intensidad de radiación podremos calcular el rendimiento del captador por cada mes del año, gracias a que también tenemos la temperatura ambiente media de la zona por cada mes. El rendimiento viene dado por la siguiente fórmula:

$$\eta = (0,94b) - [m (t_m - t_a) / I]$$

Donde:

- η = Rendimiento del captador
- b = Rendimiento óptico del captador, facilitado por el fabricante
- m = Coeficiente de pérdida de calor (W/m2·°C)
- tm = Temperatura media del captador (tomaremos como ta media 60°C, que es la que queremos conseguir en el fluido calor portador) (°C)
- ta = Temperatura ambiente media de la zona (BCN) (°C)
- I = Intensidad de radiación media durante las horas de sol (W/m2)

*La b tiene un valor de 0.802 y la m de 3.553 W/m2·°C, más adelante adjuntaremos las fichas técnicas de los captadores escogidos, los Sunnysol UP de Gasokol, donde podremos ver las características de éstos.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación efectiva	12.35	14.4	16.79	18.26	18.68	18.67
Horas de sol al día	7.5	8	9	9.5	9.5	9.5
Intensidad radiación	457.41	500	518.21	533.92	546.2	545.91
Tª diaria media	8.8	9.5	11.1	12.8	16	19.7
Tª media captador	60	60	60	60	60	60
Rendimiento captador	0.356	0.395	0.418	0.439	0.467	0.491

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación efectiva	18.8	18.82	17.89	15.72	13.28	11.78
Horas de sol al día	9.5	9.5	9	9	8	7
Intensidad radiación	549.71	550.3	552.16	485.19	461.11	467.46
Tª diaria media	22.9	23	21	17.1	12.5	9.6
Tª media captador	60	60	60	60	60	60
Rendimiento captador	0.514	0.515	0.503	0.439	0.388	0.371

Una vez calculado el rendimiento del captador podremos calcular la radiación que aprovecha éste realmente, multiplicando dicho rendimiento por la radiación efectiva.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación efectiva	12.35	14.4	16.79	18.26	18.68	18.67
Rendimiento captador	0.356	0.395	0.418	0.439	0.467	0.491
Radiación aprovecha captador	4.397	5.688	7.035	8.016	8.724	9.167

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación efectiva	18.8	18.82	17.89	15.72	13.28	11.78
Rendimiento captador	0.514	0.515	0.503	0.439	0.388	0.371
Radiación aprovecha captador	9.663	9.692	8.999	6.901	5.152	4.37

A continuación calcularemos la radiación que aprovecha el sistema, contando que a través de los diferentes elementos de la instalación se pierde alrededor de un 15% del calor que captamos.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Radiación aprovecha captador	4.397	5.688	7.035	8.016	8.724	9.167
Radiación aprovecha sistema	3.737	4.835	5.979	6.814	7.415	7.792

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Radiación aprovecha captador	9.663	9.692	8.999	6.901	5.152	4.37
Radiación aprovecha sistema	8.213	8.238	7.649	5.866	4.379	3.715

Una vez realizados todos estos cálculos ya podemos calcular la superficie de captación que necesitamos para cada mes del año, dividiendo la Energía que necesitamos en MJ por la radiación que aprovecha el sistema, sabiendo que cada captador tiene una superficie de 2.015 m².

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Energía MJ	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6
Radiación aprovecha sistema	3,737	4,835	5,979	6,814	7,415	7,792
Superficie captador	525,98	406,54	328,75	288,46	265,08	252,26

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Energía MJ	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6	1.965,6
Radiación aprovecha sistema	8,213	8,238	7,649	5,866	4,379	3,715
Superficie captador	239,33	238,6	256,97	335,08	448,87	529,10

Según la normativa sabemos que no podemos superar el 110% de la producción de energía que necesitamos en ningún mes, ni el 100% en más de tres meses, ya que si esto se produce la instalación puede sufrir sobrecalentamientos en los meses de verano con lo que podría llegar a estropearse y dejar de funcionar. Por lo que dimensionaremos tomando como base el mes más favorable, que sería Agosto, y lo multiplicaremos por el 110%, dándonos un resultado de 262,46 m² de superficie de captación. Como hay 4 meses que requieren menos superficie, aun podría sufrir riesgo de sobrecalentamiento, por lo que la superficie final se reducirá a 253,89 m², que es la que equivale a 126 captadores.

De esta forma, el % de energía que produciríamos cada mes será el siguiente:

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
% Energía	48,27%	62,45%	77,23%	88,02%	95,78%	100,65%

Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
% Energía	106,08%	106,41%	98,8%	75,77%	56,56%	47,99%

B) Cálculo del volumen de acumulación

Una vez calculada la superficie de captación, calcularemos el volumen de acumulación, a partir de la siguiente fórmula:

$$50 < \frac{V}{A} < 180$$

Donde:

V = Volumen de acumulación

A = Superficie de captación

Sabiendo que A equivale a 253,89 m², encontraremos que V debe estar entre 12.694,5 y 45.700,2 litros. Por lo que pondremos un depósito de 10.000 litros y otro de 3.000.

C) Cálculo de tuberías

Como diámetro de tubería usaremos el que nos recomienda el fabricante, que son 18 mm, y la longitud de ésta será de 2 metros por colector, por lo tanto tendremos 252 metros de longitud de tubería. A esto tenemos que sumarle la longitud del resto de la instalación, que midiendo en plano hemos visto que será de 33 m aproximadamente.

8.10. Mantenimiento

Respecto al mantenimiento nos ceñiremos a los que nos dice la normativa HE-4 del Código Técnico de la Edificación:

Sin perjuicio de aquellas operaciones de mantenimiento derivadas de otras normativas, para englobar todas las operaciones necesarias durante la vida de la instalación para asegurar el funcionamiento, aumentar la fiabilidad y prolongar la duración de la misma, se definen dos escalones complementarios de actuación:

- plan de vigilancia;
- plan de mantenimiento preventivo.

A) Plan de vigilancia

El plan de vigilancia se refiere básicamente a las operaciones que permiten asegurar que los valores operacionales de la instalación sean correctos. Es un plan de observación simple de los parámetros funcionales principales, para verificar el correcto funcionamiento de la instalación.

Tendrá el alcance descrito en la tabla 4.1:

Elemento de la instalación	Operación	Frecuencia (meses)	Descripción
CAPTADORES	Limpieza de cristales	A determinar	Con agua y productos adecuados
	Cristales	3	IV condensaciones en las horas centrales del día.
	Juntas	3	IV Agrietamientos y deformaciones.
	Absorbedor	3	IV Corrosión, deformación, fugas, etc.
	Conexiones	3	IV fugas.
CIRCUITO PRIMARIO	Estructura	3	IV degradación, indicios de corrosión.
	Tubería, aislamiento y sistema de llenado	6	IV Ausencia de humedad y fugas.
	Purgador manual	3	Vaciar el aire del botellín.
CIRCUITO SECUNDARIO	Termómetro	Diaria	IV temperatura
	Tubería y aislamiento	6	IV ausencia de humedad y fugas.
	Acumulador solar	3	Purgado de la acumulación de lodos de la parte inferior del depósito.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

B) Plan de mantenimiento preventivo

Son operaciones de inspección visual, verificación de actuaciones y otros, que aplicados a la instalación deben permitir mantener dentro de límites aceptables las condiciones de funcionamiento, prestaciones, protección y durabilidad de la instalación.

El mantenimiento implicará, como mínimo, una revisión anual de la instalación para instalaciones con superficie de captación inferior a 20 m² y una revisión cada seis meses para instalaciones con superficie de captación superior a 20 m².

El plan de mantenimiento debe realizarse por personal técnico competente que conozca la tecnología solar térmica y las instalaciones mecánicas en general. La instalación tendrá un libro de mantenimiento en el que se reflejen todas las operaciones realizadas así como el mantenimiento correctivo.

El mantenimiento ha de incluir todas las operaciones de mantenimiento y sustitución de elementos fungibles o desgastados por el uso, necesarias para asegurar que el sistema funcione correctamente durante su vida útil.

A continuación se desarrollan de forma detallada las operaciones de mantenimiento que deben realizarse en las instalaciones de energía solar térmica para producción de agua caliente, la periodicidad mínima establecida (en meses) y observaciones en relación con las prevenciones a observar.

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Captadores	6	IV diferencias sobre original. IV diferencias entre captadores.
Cristales	6	IV condensaciones y suciedad
Juntas	6	IV agrietamientos, deformaciones
Absorbedor	6	IV corrosión, deformaciones
Carcasa	6	IV deformación, oscilaciones, ventanas de respiración
Conexiones	6	IV aparición de fugas
Estructura	6	IV degradación, indicios de corrosión, y apriete de tornillos
Captadores*	12	Tapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Destapado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Vaciado parcial del campo de captadores
Captadores*	12	Llenado parcial del campo de captadores

* Operaciones a realizar en el caso de optar por las medidas b) o c) del apartado 2.1.

⁽¹⁾ IV: inspección visual

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Depósito	12	Presencia de lodos en fondo
Ánodos sacrificio	12	Comprobación del desgaste
Ánodos de corriente impresa	12	Comprobación del buen funcionamiento
Aislamiento	12	Comprobar que no hay humedad

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Intercambiador de placas	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza
Intercambiador de serpentín	12	CF eficiencia y prestaciones
	12	Limpieza

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Fluido refrigerante	12	Comprobar su densidad y pH
Estanqueidad	24	Efectuar prueba de presión
Aislamiento al exterior	6	IV degradación protección uniones y ausencia de humedad
Aislamiento al interior	12	IV uniones y ausencia de humedad
Purgador automático	12	CF y limpieza
Purgador manual	6	Vaciar el aire del botellín
Bomba	12	Estanqueidad
Vaso de expansión cerrado	6	Comprobación de la presión
Vaso de expansión abierto	6	Comprobación del nivel
Sistema de llenado	6	CF actuación
Válvula de corte	12	CF actuaciones (abrir y cerrar) para evitar agarrotamiento
Válvula de seguridad	12	CF actuación

⁽¹⁾ IV: inspección visual

⁽²⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Cuadro eléctrico	12	Comprobar que está siempre bien cerrado para que no entre polvo
Control diferencial	12	CF actuación
Termostato	12	CF actuación
Verificación del sistema de medida	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

Equipo	Frecuencia (meses)	Descripción
Sistema auxiliar	12	CF actuación
Sondas de temperatura	12	CF actuación

⁽¹⁾ CF: control de funcionamiento

8.11. Presupuesto

Nº	Unidades	Descripción	Coste Ut (€)	Coste (€)
1	126	Módulo de captación solar Sunnysol UP de Gasokol	575	72.450
2	126	Estructura de soporte de panel fotovoltaico	50	6.300
3	1	Acumulador vertical Keramtech de 10.000 litros	19.990	19.990
4	1	Acumulador vertical Keramtech de 3.000 litros	6.850	6.850
5	1	Caldera Viessman Vitopend 200 Potencia térmica hasta 24 Kw, en caso de calentamiento de ACS puede llegar hasta 29 KW. Medidas de la caldera 380x480x850 mm, peso 49kg	1.250	1.250
6	1	Grupo de bombeo BMOH	200	200
7	1	Central de control solar	70	70
8	285 m	Tubería de 18 mm	18	5.130
9	1	Accesorios Conjuntos de conexión y accesorios de baterías de captadores Uniones de tubería Elementos para instalación Accesorios para acumuladores Accesorios kits compactos	128	210
PRESUPUESTO TOTAL				112.450

8.12. Amortización

Como hemos mencionado en apartados anteriores, este tipo de instalación sólo funciona para producir calor en invierno, pero no frío en verano, a menos que se utilice una máquina de absorción, cosa que no resulta rentable como hemos visto. Si analizamos estos resultados, y entendemos que el uso de la calefacción es común, normalmente, entre los meses de noviembre y abril, vemos que el rendimiento medio en esos meses es del 63 %. Si el gasto eléctrico total era de 13.486 €, la mitad (en los meses mencionados), será de 6.743 €. Teniendo en cuenta que el precio de esta instalación es de 112.450 €, y que sólo nos ahorramos el 63% de 6.743 €, vemos lo siguiente:

$112.450 \text{ €} / (6.743 \text{ € año} \times 0,63) = \mathbf{26,47 \text{ años que tardaremos en amortizar este tipo de instalación}}$

8.13. Inversión subvencionada

El Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE) otorga ayudas a fondo perdido de hasta un 20% del presupuesto de la instalación para particulares. Además, conjuntamente con el Instituto Oficial de Crédito, ofrecen financiación bonificada (interés nominal dos puntos por debajo del interés bancario) de hasta el 70% del presupuesto de la instalación.

También se otorgan subvenciones de organismos de administraciones Municipales, Autonómicas y Comunitarias.

Así que suponiendo que el ICO y el IDAE nos otorguen una ayuda del 20% del coste total de nuestra instalación, tendríamos que el coste real sería de:

$112.450 \text{ €} \times 0,8 = 89.960 \text{ €} / (6.743 \text{ € año} \times 0,63) = \mathbf{21,18 \text{ años que tardaremos en amortizar este tipo de instalación}}$

8.14. Ventajas

Utilizando energía solar térmica contribuimos a reducir el consumo y la dependencia de las energías fósiles, reduciendo a su vez las emisiones de gases derivados de su combustión y causantes del efecto invernadero.

Las energías fósiles son un recurso agotable ya que se consumen a un ritmo muy superior al que se producen de forma natural.

Aprovechando la energía del sol, en cambio, se presenta un sistema de producción de energía sostenible, se consume la energía que diariamente produce el sol.

8.15. Inconvenientes

Los captadores solares, al depender del sol, no pueden garantizar un suministro constante de agua caliente a la temperatura deseada, por lo que es necesaria una fuente de energía auxiliar como puede ser una caldera de gas, fuente de energía no renovable.

9. Comparativa de eficiencia energética y amortización entre las distintas propuestas

Después de estudiar las distintas opciones para climatizar nuestro espacio, vamos a analizar los resultados y realizaremos una comparativa para resolver nuestra incógnita, cuál es la mejor energía renovable que podemos utilizar en nuestro caso.

Aeroterminia

Con esta opción tenemos unos resultados bastante favorables, ya que abarcamos el 100% de la climatización, no requiere un coste relativamente elevado, 53.500 €, y se amortiza bastante rápido, 6,61 años. El principal inconveniente es que su coeficiente de eficiencia energética es variable, ya que es sensible a las condiciones climatológicas externas. Con la aeroterminia, algunos días del año puede ser necesario recurrir a un refuerzo eléctrico integrado en el sistema, por lo que el consumo eléctrico aumentaría. Por estos motivos, como hemos explicado en su apartado, no se considera una fuente de energía renovable, ya que para serlo debería tener un COP superior a 3,3. Pese a eso, consideraremos esta instalación como una posible opción y la compararemos con el resto.

Geoterminia

Con la geoterminia también conseguimos unos resultados muy buenos, abarcamos el 100% de la climatización y no dependemos de las condiciones climatológicas externas ya que el calor lo extraemos del terreno, el cual siempre está a la misma temperatura, por lo tanto el consumo eléctrico va a ser el mismo en cualquier época del año. Sin embargo su coste es más elevado, 110.300 €, ya que requiere realizar obra civil, pero gracias a las subvenciones que nos proporciona el ICO-IDAE nos quedaría por 93.755 €, con un tiempo de amortización de 8,91 años, por lo que es una firme candidata a ser la instalación elegida.

Solar fotovoltaica

Como hemos comprobado es una fuente de energía que no es rentable para el autoconsumo, en cambio, puede servir como fuente de ingresos si la electricidad que producimos se la vendemos a la compañía, ya que ésta está obligada por ley a comprarnos esta electricidad a un precio superior a 5 veces su precio real. Como lo que nosotros buscábamos era una instalación que nos ayudase a la climatización de nuestro espacio de oficinas, esta instalación queda descartada al no beneficiarnos en este sentido, ya que el objetivo del proyecto no es conseguir ingresos mediante una fuente de energía, si no resolver el problema de la climatización.

Solar térmica

Después de realizar un estudio sobre este tipo de energía, hemos comprobado que esta instalación tan sólo nos serviría como una ayuda para la calefacción del espacio en invierno, porque los captadores solares, al depender del sol, no pueden garantizar un

suministro constante de agua caliente a la temperatura deseada, por lo que es necesaria una fuente de energía auxiliar como puede ser una caldera de gas, fuente de energía no renovable. Como dato, podemos decir que en los meses más fríos del año tan sólo nos proporcionaría un 63% de la energía calorífica necesaria como promedio, incluso siendo inferior al 50% en los meses de diciembre y enero. Además, como hemos dicho, no nos proporcionaría frío en verano, a menos que utilicemos una máquina de absorción, cosa que no resulta rentable ni 100% eficaz. Su coste, pese a estar subvencionada es de 89.960 €, inversión que no es baja para el rendimiento que nos da, y su amortización, es alta, 21,18 años. Si a todo esto le unimos que la instalación tiene unos 25 años de vida como promedio, hace que descartemos esta opción al no ser competitiva con los resultados que nos proporcionan las bombas de calor aerotérmicas o geotérmicas. Pese a esta conclusión, podemos afirmar que la energía solar térmica puede servir como apoyo para la calefacción de un espacio, pero no para producir el 100% de la climatización.

Por lo tanto, después de analizar los resultados, nos quedan como últimas opciones la aeroterminia y la geoterminia. A continuación vamos a adjuntar una tabla que nos aportará datos de un estudio de amortización a 20 años, la cual nos indicará el ahorro eléctrico anual en euros, suponiendo que el precio de la electricidad suba un 4'5% cada año.

Tabla de amortización anual durante 20 años

	AÑO	AEROTERMIA (€)	GEOTERMIA (€)
1	2009	8.091,00	10.519,00
2	2010	8.455,10	10.992,36
3	2011	8.835,57	11.487,01
4	2012	9.233,18	12.003,93
5	2013	9.648,67	12.544,10
6	2014	10.082,86	13.108,59
7	2015	10.536,59	13.698,47
8	2016	11.010,73	14.314,91
9	2017	11.506,22	14.959,08
10	2018	12.024,00	15.632,23
11	2019	12.565,08	16.335,69
12	2020	13.130,50	17.070,79
13	2021	13.721,38	17.838,98
14	2022	14.338,84	18.641,73
15	2023	14.984,09	19.480,61
16	2024	15.658,37	20.357,24
17	2025	16.363,00	21.273,31
18	2026	17.099,33	22.230,61
19	2027	17.868,80	23.230,99
20	2028	18.672,90	24.276,38
	TOTAL	253.826,18	329.996,00

Si tenemos en cuenta que con aerotermia, en 20 años nos ahorramos 253.826,18 € de electricidad y el coste de la instalación es de 53.500 €, tenemos que:

$253.826,18 \text{ €} - 53.500 \text{ €} = \mathbf{200.326,18 \text{ €}}$ reales que nos ahorraremos en 20 años si escogemos la instalación de energía aerotérmica

Por el contrario, sabemos que con geotermia, también en 20 años, nos ahorramos 329.996 € de electricidad y el coste de la instalación es de 93.755 €, por lo tanto:

$329.996 \text{ €} - 93.755 \text{ €} = \mathbf{236.241 \text{ €}}$ reales que nos ahorraremos en 20 años si escogemos la instalación de energía geotérmica

9.1. Impacto medioambiental

Según datos recogidos por Endesa, sabemos que las siguientes fuentes de energía producen las siguientes cantidades de CO₂ por kWh producido:

- 1 kWh producido con Gas Natural emite 0.18 Kg de CO₂
- 1 kWh producido con Carbón emite 0.33 Kg de CO₂
- 1 kWh producido con Gasoil emite 0.29 Kg de CO₂

Como hemos visto, el consumo medio anual de nuestro espacio en el año 2004 fue de 61.124 kWh, que equivalen a:

- 11.002,32 kg de CO₂ si producimos la electricidad con gas natural
- 20.170,92 kg de CO₂ si producimos la electricidad con carbón
- 17.725,96 kg de CO₂ si producimos la electricidad con Gasoil

Por tanto, sabiendo que con aerotermia nos ahorramos un 60% de consumo de electricidad, a la vez produciremos menos CO₂:

- 6.601,39 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con gas natural
- 12.102,55 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con carbón
- 10.635,58 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con Gasoil

Y si hablamos de geotermia, sabemos que produciremos un 78% menos de CO₂:

- 8.581,81 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con gas natural
- 15.733,32 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con carbón
- 13.826,25 kg de CO₂ que evitaremos respecto a lo producido con Gasoil

10. Conclusión

Después de analizar las distintas propuestas de instalaciones para climatizar nuestro espacio hemos acabado seleccionando dos que destacaban por encima de las otras, que eran la aerotermia y la geotermia. Pero si estudiamos los resultados de la comparativa final, podemos ver que **la solución más correcta es la elección de la instalación de energía geotérmica**. Como podemos comprobar en los distintos apartados del proyecto, **es la solución más rentable**, ya que a la larga acabamos ahorrando más energía que con el resto de instalaciones, aunque su coste de ejecución sea más caro. Además, ya que la aerotermia no se considera una energía renovable, podemos decir que **es la única fuente de energía renovable que, con un consumo relativamente bajo de electricidad, es capaz de producirnos el 100% de la calefacción y refrigeración de un espacio en cualquier época del año**, sin importarnos los factores climatológicos del exterior. Al mismo tiempo que podemos decir que **es la solución más eficiente**, también podemos afirmar que **es la solución más ecológica**, ya que es con la que más emisiones de CO₂ nos ahorramos. Pese a todo esto, la energía aerotérmica podría ser una alternativa en según que edificios y casos, ya que primero, la geotérmica requiere cierta superficie de captación, y segundo, su coste es inferior al de la geotérmica.

Como conclusión final, podemos decir que la geotermia es una fuente de energía relativamente desconocida en nuestro país actualmente, y que lo ideal sería que se invirtiese en su investigación y desarrollo ya que es una fuente de energía renovable, rentable, eficiente, ecológica e inagotable.

11. Bibliografía

- Creus Solé, A. (2004), Energías renovables. CEYSA. Editorial técnica.
- Energía solar fotovoltaica. Serie: mundo electrónico. Boixareu Editores.
- Rey Martínez, F.J., Velasco Gómez, E. (2005), Bombas de calor y energías renovables en edificios. Thomson.
- Desarrollo mediante convenio de la Fase I del Plan de Ahorro y eficiencia energética de los equipamientos municipales de Sabadell.
- Curso de formación en energía solar fotovoltaica del ICAEN.
- Curso de formación en energía solar térmica del ICAEN.
- Ordenanza sobre la incorporación de sistemas de captación de energía solar para usos térmicos en las edificaciones del Ayuntamiento de Sabadell.
- Código Técnico de la Edificación. HE, Ahorro de energía.

Enlaces web utilizados:

- www.geotics.net
- www.calornatural.es
- www.girodgetermia.com
- www.geoprocal.es/areotermia.htm
- www.airpac.eu
- www.agruquero.com
- www.wikipedia.com
- www.nibe.eu
- www.stiebel-eltron.de
- www.solliclima.com
- www.ibersolar.com
- www.aguidrovert.com
- www.endesa.com
- www.idae.es
- www.ico.es
- www.icaen.cat

Información oral:

- Entrevistas y visita de obra realizada con el responsable de Calor Natural en Cataluña, Juan Ruiz.

Otros:

- Información adquirida en la asignatura impartida en la EPSEB, Proyecto de instalaciones de energía solar térmica y fotovoltaica.

12. Agradecimientos

En primer lugar quería agradecer a Juan Ruiz, responsable de Calor Natural en Cataluña, su atención y ayuda prestada para conseguir desarrollar la propuesta de la instalación geotérmica, ya que sin la información transmitida en las distintas entrevistas realizadas con él, y la visita de obra a la cual me concedió acceder, no hubiese sido posible el desarrollo de este importante apartado.

También quería agradecer a Mireia Canyelles, trabajadora del Departamento de Medioambiente y Sostenibilidad del Ayuntamiento de Sabadell, su atención y también la información aportada sobre el edificio de Can Marçet y sobre la instalación aerotérmica existente.

Por otra parte, también quería agradecer a mi tutora, Inmaculada Rodríguez Cantalapiedra, su ayuda a lo largo de todo el proceso que ha requerido la ejecución de este proyecto, y la ayuda en la dirección de éste.

Y por último, quería agradecer la colaboración de todas aquellas personas que de alguna forma han participado en este proyecto y han ayudado a que sea mejor, a mi familia y en especial, a Miryam Frías Martínez, que me ha ayudado siempre que lo he necesitado.

Gracias a todos.

