

*A mis padres por su apoyo y ánimos durante todos estos años,*

*A mi suegra por todas las velas que puso a los santos por mí,  
y a mi suegro por su disponibilidad para cualquier cosa*

*A mis tutores de proyecto,  
Isa y en especial a Andrea que me ha guiado en la parte final*

*A mi mujer, amiga y esposa Chelo,  
por estar siempre a mi lado y soportar mis ausencias por el estudio,*

*A mi hijo Jorge, mi pequeño,  
por transmitirme energía y fuerza para terminar*

*Y en general a todos los que tuvieron algo que ver en todo este largo camino,  
iniciado en 1999 y que termina ahora, en 2011, con este Proyecto Final de Grado*



## **PROYECTO DE APLICACIÓN DE SISTEMAS DE ENERGÍA GEOTÉRMICA Y SOLAR EN VIVIENDA UNIFAMILIAR AISLADA. ESTUDIO Y VIABILIDAD ECONÓMICA.**

### **RESUMEN DEL PROYECTO**

En el presente proyecto se va a realizar el estudio de implantación de dos instalaciones de energías renovables en una vivienda unifamiliar ya construida y situada en el término municipal de Ribarroja del Turia, Valencia.

Por un lado la instalación de un sistema de climatización geotérmico, que utiliza la energía que se encuentra en el subsuelo, la cual, mediante el uso de una bomba de calor geotérmica, se transfiere a la vivienda en forma de frío o calor, según sea necesario.

Por otro lado se realiza la propuesta de disponer en la cubierta una instalación solar fotovoltaica en régimen especial, capaz de producir energía eléctrica a partir del sol e inyectarla en la red general obteniendo beneficio económico por cada kW producido e introducido a la red general.

En la primera parte del proyecto se desarrollan aspectos generales de la energía geotérmica y solar fotovoltaica así como los componentes y funcionamiento de las diferentes instalaciones para un obtener un conocimiento previo antes de pasar al estudio.

Tomando como referencia los datos que disponemos de la vivienda como son climatología del lugar, características constructivas, superficies y volúmenes, así como unas condiciones de confort preestablecidas, se evalúan y calculan las necesidades térmicas de la vivienda, tanto de calefacción como de refrigeración necesarias para dimensionar la instalación geotérmica.

Para el cálculo de la instalación solar fotovoltaica tomamos como punto de partida, además de la situación geográfica y orientación de la vivienda, la superficie disponible

de cubierta que podemos utilizar, sin causar molestias a otros elementos o instalaciones ya existentes.

A partir de los datos obtenidos de los diferentes cálculos realizados dimensionamos y diseñamos las diferentes instalaciones realizando un estudio de mercado para elegir los aparatos y elementos más adecuados que utilizaremos en las instalaciones, como la bomba de calor en el caso del sistema geotérmico o los paneles fotovoltaicos y el inversor en la instalación solar.

La parte final del proyecto se ha dedicado a efectuar un estudio de viabilidad de las instalaciones en cuanto al aspecto económico y energético, comparando el sistema de climatización geotérmico frente a una instalación de caldera de gas natural y radiadores para calefacción y una instalación con bomba de calor convencional del tipo aire-aire para la refrigeración, obteniendo así el ahorro energético y económico que se obtiene con este sistema. Se cuantifica también el ahorro producido en emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

En cuanto a la instalación solar fotovoltaica se realiza la comparación entre la cantidad de energía eléctrica que teóricamente será capaz de producir nuestra instalación frente al consumo eléctrico que se produce habitualmente en la vivienda.

A partir de los datos económicos obtenidos, se ha desarrollado una simulación para obtener el periodo de amortización económica y retorno de la inversión realizada inicialmente en ambas instalaciones.

---

	<u>pág.</u>
AGRADECIMIENTOS.....	I
RESUMEN.....	III
INDICE.....	V
LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS .....	IX
1. Introducción y objetivos.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Objetivos específicos del proyecto.....	3
1.3. Normativa aplicable.....	4
2. Energía geotérmica y energía fotovoltaica.....	5
2.1. Energía geotérmica.....	5
2.1.1. Definición.....	5
2.1.2. Historia y alcance de la energía geotérmica en nuestros días.....	9
2.1.3. Clasificación de la energía geotérmica y sus aplicaciones.....	10
2.1.4. Propiedades.....	12
2.2. Energía solar fotovoltaica.....	14
2.2.1. Definición. Usos y ventajas.....	14
2.2.2. Historia.....	17
2.2.3. Tipos de sistemas fotovoltaicos.....	18
3. Descripción de las instalaciones.....	21
3.1. Sistema de climatización mediante energía geotérmica.....	21
3.1.1. Funcionamiento del sistema.....	21
3.1.2. Componentes de la instalación.....	24
A. Bomba de calor geotérmica.....	24
B. Sistema de tuberías.....	27
C. Sistemas de calefacción/refrigeración en viviendas.....	29
3.2. Sistema fotovoltaico de conexión a red.....	30
3.2.1. Funcionamiento del sistema.....	30

---

---

3.2.2. Componentes de la instalación.....	32
a. Módulos fotovoltaicos.....	32
b. Inversor de conexión a red.....	33
c. Estructura.....	35
d. Seguridad y cableado.....	36
e. Seguidores solares.....	36
3.2.3. Marco legal.....	37
4. Memoria descriptiva de la vivienda objeto de estudio y cálculo de la demanda energética.....	39
4.1. Descripción de la vivienda.....	39
4.2. Memoria constructiva de la vivienda.....	43
4.3. Demanda energética de la vivienda. ....	49
4.3.1. Climatización.....	49
A. Punto de confort.....	49
B. Necesidades de refrigeración.....	50
C. Necesidades de calefacción.....	53
4.3.2. Electricidad.....	55
5. Propuesta de instalación geotérmica y solar fotovoltaica.....	57
5.1. Instalación geotérmica. ....	57
5.1.1. Sistema de captación.....	58
5.1.2. Bomba de calor. ....	62
5.1.3. Sistema de distribución.....	64
5.2. Instalación fotovoltaica. ....	66
5.2.1. Dimensionado. ....	66
A. Obtención de datos geográficos y climatológicos.....	67
B. Calculo de la radiación prevista en la ubicación seleccionada....	67
C. Datos relativos al sistema.....	71
D. Perdidas.....	73
E. Resultados.....	74
5.2.2. Integración en el edificio.....	76

---

---

6. Viabilidad.....	81
6.1. Instalación geotérmica.....	81
6.1.1. Presupuesto de la instalación.....	81
6.1.2. Ahorro energético respecto al sistema convencional.....	83
A. Calefacción.....	83
B. Refrigeración.....	84
C. Totales.....	87
6.1.3. Análisis económico de la instalación.....	87
6.1.4. Ahorro en emisiones de CO <sub>2</sub> .....	88
6.2. Instalación fotovoltaica.....	91
6.2.1. Presupuesto de la instalación.....	91
6.2.2. Comparativa de la energía eléctrica consumida – producida.....	92
6.2.3. Análisis económico de la instalación solar fotovoltaica.....	94
CONCLUSIONES.....	97
DOCUMENTACION.....	105
ANEXOS.....	107
1. Documentación gráfica de la vivienda.....	109
2. Calculo de cargas térmicas.....	131
3. Cálculos económicos.....	141
4. Fundamentos teóricos de la bomba de calor geotérmica.....	147
4.1. Bomba de calor geotérmica.....	148
4.1.1. Elementos.....	148
4.1.2. Funcionamiento.....	150
4.1.3. Fluido refrigerante.....	155
5. Catálogos de los equipos.....	157



## LISTADO DE FIGURAS Y TABLAS

- **FIGURAS**

	<u>Pág.</u>
<i>Figura 1. Estructura interna de la Tierra.....</i>	6
<i>Figura 2. Temperatura en el subsuelo según la profundidad y diferentes épocas del año.....</i>	8
<i>Figura 3. Usos de la energía geotérmica según su temperatura.....</i>	11
<i>Figura 4. Usos de la energía geotérmica según su temperatura.....</i>	19
<i>Figura 5. Sistema de lazo cerrado disposición vertical.....</i>	23
<i>Figura 6. Bomba de calor geotérmica en modo refrigeración.....</i>	26
<i>Figura 7. Bomba de calor geotérmica en modo calefacción.....</i>	26
<i>Figura 8. Calefacción - refrigeración con bomba de calor agua-aire .....</i>	29
<i>Figura 9. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red. ....</i>	31
<i>Figura 10. Módulo fotovoltaico. ....</i>	32
<i>Figura 11. Inversores de corriente y protecciones. ....</i>	34
<i>Figura 12. Estructura para módulos fotovoltaicos.....</i>	35
<i>Figura 13. Seguidor solar instalado en tejado.....</i>	36
<i>Figura 14. Situación de vivienda unifamiliar (fuente: google maps).....</i>	40
<i>Figura 15. Distribución de vivienda planta baja.....</i>	41
<i>Figura 16. Distribución de vivienda planta primera.....</i>	41
<i>Figura 17. Distribución planta sótano.....</i>	42
<i>Figura 18. Cimentación y forjado.....</i>	43
<i>Figura 19. Cubierta ajardinada.....</i>	44
<i>Figura 20. Cubierta plana transitable.....</i>	45
<i>Figura 21. Cerramiento exterior de fachada.....</i>	46
<i>Figura 22. Zona de confort o bienestar (modelo de Olgyay).....</i>	49
<i>Figura 23. Propiedades de varios tipos de suelos (fuente: RETscreen International).....</i>	60
<i>Figura 24. Situación de perforación del pozo.....</i>	61
<i>Figura 25. Bomba de calor geotérmica ECONAR modelo EV 470/471.....</i>	62

---

<i>Figura 26. Instalación de bomba de calor en sótano.....</i>	63
<i>Figura 27. Distribución de conductos planta baja.....</i>	64
<i>Figura 28. Distribución de conductos planta primera.....</i>	65
<i>Figura 29. Sección de instalación climatización geotérmica.....</i>	65
<i>Figura 30. Determinación de ángulo azimut.....</i>	68
<i>Figura 31. Calculo grafico de pérdidas por inclinación y orientación.....</i>	69
<i>Figura32. Producción eléctrica anual de la instalación fotovoltaica.....</i>	75
<i>Figura 33. Esquema de instalación la fotovoltaica.....</i>	75
<i>Figura 34. Distancias mínimas entre módulos.....</i>	76
<i>Figura 35. Esquema instalación módulos en filas.....</i>	77
<i>Figura 36. Disposición de módulos en filas.....</i>	77
<i>Figura 37. Disposición final de módulos en alzado.....</i>	78
<i>Figura 38. Disposición final de módulos en planta.....</i>	79
<i>Figura 39. Instalación en alzado Sureste.....</i>	79
<i>Figura 40. Instalación en alzado Noreste.....</i>	80
<i>Figura 41. Consumo de gas en 2010.....</i>	84
<i>Figura 42. Amortización de la instalación Geotérmica.....</i>	88
<i>Figura 43. Consumo y producción de energía eléctrica.....</i>	93
<i>Figura 44. Amortización de la instalación fotovoltaica.....</i>	95
<i>Figura 45. Resultados de estudio instalación geotérmica.....</i>	99
<i>Figura 46. Consumo y producción de energía eléctrica.....</i>	101
<i>Figura 47. Amortización de las instalaciones.....</i>	102
<i>Figura 48. Amortización de instalaciones conjunta.....</i>	103
<i>Figura 49. Componentes principales de la bomba de calor geotérmica.....</i>	148
<i>Figura 50. Bomba de calor trabajando en modo calefacción.....</i>	152
<i>Figura 51. Bomba de calor trabajando en modo refrigeración.....</i>	154
<i>Figura 52. Reversibilidad de la bomba de calor por medio de una válvula de 4 vías.....</i>	154

---

- **TABLAS**

	<u>Pág.</u>
<i>Tabla 1. Cuadro de superficies.....</i>	42
<i>Tabla 2. Exigencia de calidad ambiental. RITE IT 1.1.4.1.....</i>	50
<i>Tabla 3. Calculo de cargas de refrigeración en salón-comedor.....</i>	52
<i>Tabla 4. Resumen de cargas de refrigeración total de la vivienda.....</i>	53
<i>Tabla 5. Calculo de cargas de calefacción en salón-comedor.....</i>	54
<i>Tabla 6. Calculo de cargas de calefacción en salón-comedor.....</i>	55
<i>Tabla 7. Propiedades de varios tipos de suelos (fuente: RETscreen International).....</i>	59
<i>Tabla 8. Ámbito de aplicación de la HE-5.....</i>	66
<i>Tabla 9. Calculo de radiación solar.....</i>	67
<i>Tabla 10. Calculo de radiación solar.....</i>	67
<i>Tabla 11. Tabla perdidas limite HE-5.....</i>	67
<i>Tabla 12. Calculo de radiación solar.....</i>	71
<i>Tabla 13. Características técnicas del módulo solar.....</i>	72
<i>Tabla 14. Características técnicas del inversor eléctrico.....</i>	72
<i>Tabla 15. Determinación de los grupos.....</i>	73
<i>Tabla 16. Calculo de las perdidas.....</i>	73
<i>Tabla 17. Resultados productivos y económicos de la instalación fotovoltaica.....</i>	74
<i>Tabla 18. Presupuesto de instalación geotérmica.....</i>	82
<i>Tabla 19. Resumen de presupuesto con subvención.....</i>	83
<i>Tabla 20. Gasto anual de gas natural.....</i>	83
<i>Tabla 21. Factura de electricidad.....</i>	85
<i>Tabla 22. Previsión económica de la instalación en 20 años.....</i>	87
<i>Tabla 23. Ahorro de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub>.....</i>	90
<i>Tabla 24. Presupuesto instalación fotovoltaica.....</i>	91
<i>Tabla 25. Consumo eléctrico de la vivienda en 2010.....</i>	92
<i>Tabla 26. Producción anual estimada de la inst. Fotovoltaica.....</i>	93
<i>Tabla 27. Evolución económica de la instalación Fotovoltaica.....</i>	95

---

<i>Tabla 28. Tasa interior de retorno de la inversión conjunta.....</i>	103
<i>Tabla 29. Calculo de cargas de refrigeración en cocina.....</i>	134
<i>Tabla 30. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio principal.....</i>	134
<i>Tabla 31. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio 1.....</i>	135
<i>Tabla 32. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio 2.....</i>	135
<i>Tabla 33. Calculo de cargas de calefacción en cocina.....</i>	137
<i>Tabla 34. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio principal.....</i>	137
<i>Tabla 35. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio 1.....</i>	138
<i>Tabla 36. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio 2.....</i>	138
<i>Tabla 37. Amortización inversión instalación geotérmica. Periodo 1 a 10 años.....</i>	143
<i>Tabla 38. Amortización inversión instalación geotérmica. Periodo 10 a 20 años.....</i>	143
<i>Tabla 39. TIR de la inversión en la instalación geotérmica.....</i>	144
<i>Tabla 40. Amortización inversión instalación sola. Periodo 1 a 10 años.....</i>	144
<i>Tabla 41. Amortización inversión instalación sola. Periodo 10 a 20 años.....</i>	144
<i>Tabla 42. Amortización inversión instalación sola. Periodo 1 a 20 años.....</i>	145
<i>Tabla 43. TIR de la inversión en la instalación solar.....</i>	145

# 1 Introducción y objetivos

## 1.1. INTRODUCCIÓN.

La mayor parte del consumo energético en edificios de viviendas se atribuye a necesidades de calefacción y refrigeración por parte de los ocupantes para conseguir unas condiciones óptimas de confort.

El rápido crecimiento económico en los últimos años ha propiciado una mejora de las condiciones económicas de la población que demanda cada vez más confort, lo que ha provocado un incremento notable de las necesidades energéticas para la climatización de edificios.

Los sistemas de climatización más extendidos actualmente requieren de un uso de combustibles fósiles (gas natural, gasoil, electricidad, etc.), con la consiguiente emisión de gases de efecto invernadero y un encarecimiento en la factura energética.

Las emisiones producidas por los combustibles fósiles, utilizados para satisfacer la demanda de energía a nivel global, están llevando a un peligroso cambio climático en

el planeta. Los científicos nos advierten de que las temperaturas globales podrían aumentar en este siglo en el caso de no se lleven a cabo las medidas adecuadas para controlar las emisiones contaminantes.

Es el momento en el que todos tenemos que intentar mejorar el estado actual, y una forma de ayudar es actuando bajo el concepto de eficiencia energética.

La eficiencia energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

Esto llevado a términos de edificación se traduce en la construcción o rehabilitación de viviendas más eficientes energéticamente, que aprovechen y rentabilicen al máximo el consumo de energía.

Para mejorar en este sentido los edificios tenemos que actuar en dos direcciones principales:

- Mejorar el aislamiento de las viviendas con el ambiente exterior para minimizar los intercambios térmicos.
- Mejorar el rendimiento de los equipos e instalaciones, de forma que nos aporten mayor cantidad de energía con el mínimo consumo.

Estas mejoras en la gestión del consumo energético ayudan a disminuir el problema de contaminación, pero no son suficientes para eliminarlo.

Para ello es necesario realizar un gran esfuerzo y disminuir la dependencia de las fuentes de energías fósiles, contaminantes y agotables, con el fin de disponer de unas fuentes de energía alternativas, no contaminantes e inagotables que el planeta nos ofrece.

Entre las energías renovables podemos encontrar la energía solar, que todos conocemos, y otras más minoritarias entre las que se encuentra la Energía Geotérmica,

definida como la energía almacenada en forma de calor en el interior de la Tierra, y que mediante el uso de bombas de calor geotérmicas presenta una buena alternativa a los sistemas de climatización convencionales para abastecer las necesidades de calefacción y refrigeración que demandan los edificios de viviendas.

Es en este contexto de eficiencia energética y uso de energías renovables en el que planteo el siguiente proyecto final de grado, donde se estudia y valora de manera técnica y económica la instalación, en una vivienda unifamiliar situada en el término de Ribarroja del Turia, de un sistema de climatización geotérmico, para obtener el confort térmico en la vivienda, y de una pequeña central solar fotovoltaica, para devolver a la red al menos la misma cantidad de electricidad que se consume, pero creada de forma limpia y respetuosa con el medio ambiente.

## **1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS DEL PROYECTO.**

A continuación se enuncian de manera resumida los objetivos que se plantean en la realización de este proyecto.

- Estudiar y conocer los sistemas de energía geotérmica y solar fotovoltaica, aplicados a la climatización y la producción de energía eléctrica respectivamente.
- Evaluar las necesidades energéticas de la vivienda en cuanto a calefacción y refrigeración.
- Dimensionar y calcular los elementos necesarios para la implantación de los sistemas antes mencionados en la vivienda unifamiliar.
- Valorar económicamente las instalaciones a realizar.
- Analizar los beneficios técnicos, económicos y medioambientales de los sistemas instalados en el funcionamiento energético de la vivienda y compararlos con otros sistemas convencionales.
- Estudiar la viabilidad económica del proyecto y los tiempos de recuperación de las inversiones.

### **1.3. NORMATIVA APLICABLE.**

Se detalla a continuación la normativa que hemos utilizado en la redacción de este proyecto.

- Código Técnico de la Edificación (C.T.E.), aprobado por el R.D. 314/2006.
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (R.I.T.E.), aprobado por el R.D. 1027/2007.
- Pliego de Condiciones Técnicas de Baja Temperatura para Instalaciones de Energía Solar Térmica, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Normas UNE que son de aplicación al proyecto
- Reglamento electrotécnico para Baja Tensión
- Reglamento de Aparatos a Presión
- Real Decreto 436/2004 sobre la producción de energía eléctrica mediante energías renovables.
- Real Decreto 1663/2000 del 29 de Septiembre sobre la conexión de la instalación fotovoltaica a la red de baja Tensión.
- Real Decreto 3490/2000 de 20 de Septiembre sobre los derechos de verificación de la compañía eléctrica.

# 2 Energía geotérmica y energía fotovoltaica

## 2.1. ENERGIA GEOTERMICA

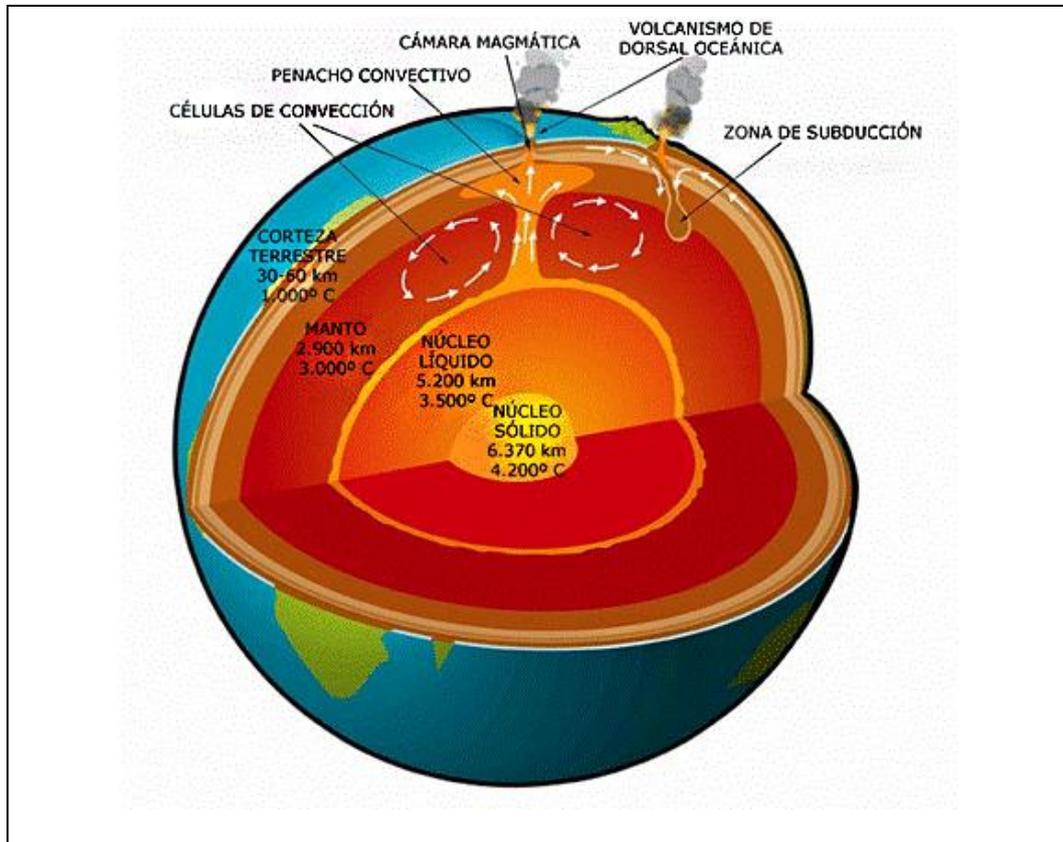
### 2.1.1. Definición

Geotermia es una palabra de origen griego que deriva de “geos” que quiere decir tierra, y de “thermos” que significa calor, es decir, **el calor de la tierra**. [1]

Esta palabra se emplea indistintamente para designar tanto a la ciencia que estudia los fenómenos térmicos internos del planeta como a conjunto de procesos industriales que intentan explotar ese calor para producir energía.

Por lo tanto podemos definir la energía Geotérmica como “LA ENERGÍA ALMACENADA EN FORMA DE CALOR POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA”. Esta definición engloba el calor almacenado en rocas, suelos y aguas subterráneas, cualquiera que sea su temperatura, profundidad o procedencia. A esta definición se le podría sumar también la energía que se encuentra almacenada en las aguas superficiales, ya sean continentales o marinas. [1]

Desde el centro hasta la superficie, el globo terrestre está formado por tres capas sucesivas de temperatura decreciente: [1]



**Figura 1. Estructura interna de la Tierra.**

- El núcleo, sólido en su parte interna y líquido en su parte exterior, con una temperatura que puede alcanzar los 4.200 °C.
- El manto, que envuelve al núcleo, con temperaturas que van desde los 3.000 °C hasta los 1.000 °C. Tiene una textura plástica en su parte más interna y se va haciendo sólido en su parte hacia la superficie.
- La corteza, corresponde a la envoltura superficial, tiene un espesor que varía desde 5 a 20 km en las profundidades oceánicas, y desde 30 a 70 km bajo los continentes. Su temperatura varía desde los 1.000 °C en su contacto con el manto, hasta los 15 – 20 °C de la superficie terrestre.

El resultado de esta estructura interna es que el 99% de la masa de la tierra esta sometida a temperaturas superiores a los 1000 °C y únicamente un 0,1% de la misma soporta superficies inferiores a los 100 °C.

El origen de este calor interno del globo terrestre se debe a los siguientes motivos:

- Desintegración de los isotopos radioactivos presentes en la corteza y en el manto.
- Calor inicial que se liberó durante la formación del planeta hace 4500 millones de años y que todavía está llegando a la superficie.
- Movimientos diferenciales entre las diferentes capas que constituyen la Tierra, principalmente entre el manto y el núcleo.
- Cristalización del núcleo. En su zona externa (liquida) está cristalizando continuamente y en la zona de transición con el núcleo interno (solido) se libera calor.

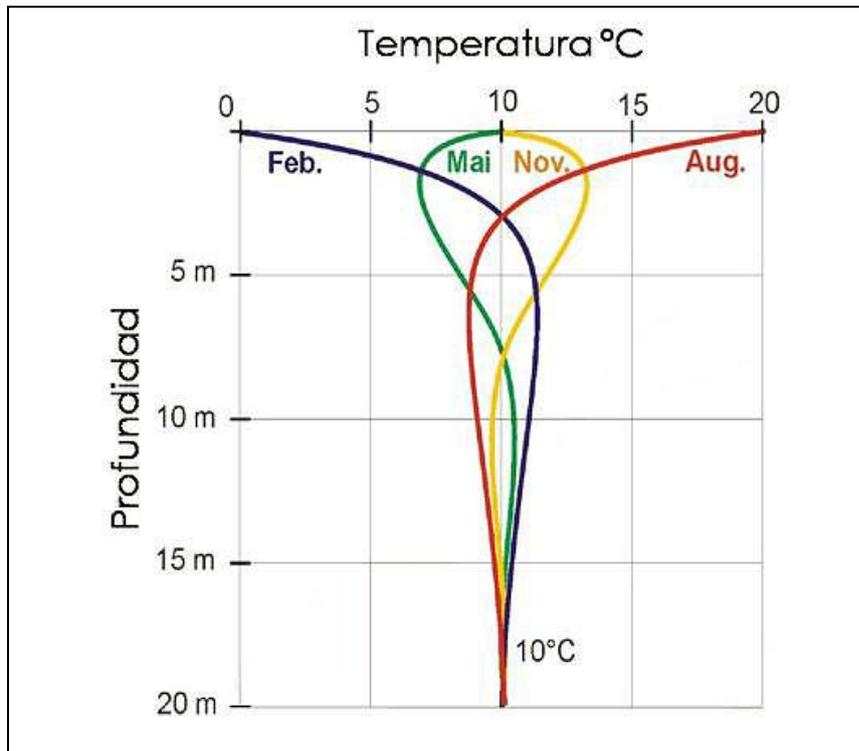
Además del calor interno, la superficie de la tierra recibe del sol gran cantidad de energía, en forma de calor. Esta energía penetra en el subsuelo a escasa profundidad, contribuyendo a mantener la superficie del planeta a una temperatura promedio de 15°C, y es irradiada de nuevo al espacio, por lo que no interviene en los procesos energéticos que afectan al interior de la Tierra.

Es este calor más superficial llamado de muy baja temperatura o entalpia, el que se utiliza como fuente de energía de uso doméstico en viviendas.

Por lo tanto no hace falta hablar de un yacimiento de energía geotérmica de baja temperatura, ya que cualquier punto a poca profundidad de la corteza terrestre puede ser empleado como fuente de energía al estar la temperatura normalmente por debajo de los 25 °C incluso en las zonas con climas fríos.

La temperatura media que tiene el subsuelo en un determinado punto es aproximadamente igual a la temperatura media anual de la zona. En España se estima que la temperatura media del subsuelo puede estar en torno a los 15 °C.

Si hacemos un estudio de la temperatura que tiene el subsuelo a medida que profundizamos en diferentes épocas del año, obtendremos un gráfico en el que observamos cuatro curvas: [2]



**Figura 2. Temperatura en el subsuelo según la profundidad y diferentes épocas del año**

- Azul: En invierno, a medida que profundizamos, la temperatura va aumentando hasta alcanzar un valor fijo de 10 °C.
- Roja: En verano ocurre lo contrario; a medida que profundizamos la temperatura desciende hasta los 10 °C.
- Verde y amarilla: En primavera y otoño las variaciones son menores, llegándose a alcanzar, en profundidad, el mismo valor de 10 °C

Este hecho es sumamente importante porque quiere decir que a partir de una determinada profundidad, la temperatura del subsuelo es constante, e independiente de la estación anual en la que nos encontremos y por supuesto, independiente de la hora del día o de la noche. Disponemos por ello, a unos pocos metros de nosotros, de

una fuente de energía constante a lo largo de todo el año y accesible en todos los lugares.

Por lo tanto podemos afirmar que la temperatura en estos primeros metros de la corteza terrestre se mantiene a temperatura constante debido al efecto de las dos fuentes de calor que ya hemos mencionado:

- La energía procedente del sol que aporta  $1,74 \times 10^{17} \text{ J/m}^2\text{s}$
- La energía terrestre (desintegración isotópica, calor inicial, movimientos diferenciales) que aportan  $4,2 \times 10^{12} \text{ j/m}^2\text{s}$ .

A medida que se profundice, mayor importancia adquiere la energía procedente del interior de la tierra. Sin embargo en las primeras decenas de metros el sol es una auténtica fuente de energía, que no solo calienta la superficie de la corteza terrestre, sino que calienta toda la atmósfera y por consiguiente las nubes y el agua de lluvia que se convierte de esta manera en un aporte extra de energía al subsuelo.

Está comprobado que cuando llueve, la temperatura del terreno aumenta ya que se está realizando un aporte de energía al subsuelo. Además, la humedad aportada al terreno aumentará su capacidad de conducción térmica, favoreciendo el intercambio entre captadores y terreno.

### **2.1.2. Historia de la geotermia [1]**

La presencia de volcanes, géiseres, fuentes termales y otras manifestaciones termales como géiseres o fumarolas se han conocidos desde tiempos muy antiguos.

Sin embargo fueron los griegos y posteriormente los romanos los que dejaron numerosos ejemplos de la aplicación de la energía geotérmica para uso doméstico, como fueron las tradicionales termas y baños públicos.

En 1330 ya existía una red de distribución de agua caliente en algunas casas en Chaudes-Aigues, población de Francia con yacimientos de aguas termales.

En los siglos XVI y XVII se empezaron a realizar las primeras mediciones en pozos y minas de algunos cientos de metros de profundidad, que revelaron que la temperatura aumenta con la profundidad de forma general en todo el planeta.

A partir del siglo XIX, los avances técnicos y permitieron buscar cada vez a mayor profundidad, y explotar cada vez mejor el calor de la Tierra.

En 1911 se construyó la primera planta de producción de energía eléctrica mediante geotermia del mundo en Larderello, una ciudad de la Toscana.

Durante varias décadas continuó siendo el único lugar del mundo en el que la geotermia se utilizaba para la producción de electricidad además, de otros usos industriales y residenciales.

Durante esta época otros países como Japón, EEUU o Islandia, comenzaron a desarrollar sus recursos geotérmicos, realizándose en 1945 la primera instalación con bomba de calor geotérmica en una vivienda en Indianápolis, EE.UU.

Sin embargo, es tras la crisis energética de los años setenta cuando el interés por esta fuente de energía se desarrolla rápidamente en todo el mundo, y se inicia una intensa actividad de exploración e investigación de recursos geotérmicos con el objetivo de utilizarlos para la producción de energía eléctrica o para calefacción y agua caliente.

### **2.1.3. Clasificación de la energía geotérmica y sus aplicaciones [1]**

La clasificación se realiza en función de la temperatura del subsuelo. Así pues se establecen cuatro tipos de energía geotérmica.

- **Alta temperatura: más de 150 °C.**  
Una temperatura superior a 150 °C permite transformar directamente el vapor de agua en energía eléctrica.
- **Media temperatura: entre 90 y 150 °C.**  
Permite producir energía eléctrica utilizando un fluido de intercambio, que es el que alimenta a las centrales.

- **Baja temperatura: entre 30 y 90 °C.**

Su contenido en calor es insuficiente para producir electricidad, pero es adecuado para calefacción de edificios y determinados procesos industriales.

- **Muy baja temperatura: menos de 30 °C.**

Puede ser utilizada para calefacción y climatización, necesitando emplear bombas de calor.

Las aplicaciones que se pueden dar a un fluido geotermal dependen de su contenido en calor, o lo que es lo mismo, de su entalpía.

Entalpía es la cantidad de energía térmica que un fluido, o un objeto, puede intercambiar con su entorno. Se expresa en kJ/kg o en kcal/kg.

Como no se puede medir la entalpía de un fluido en el subsuelo, pero si podemos medir su temperatura a través de ondas térmicas, y se considera que entalpía y temperatura son, más o menos, proporcionales, es esta la que determina su futura aplicación industrial.

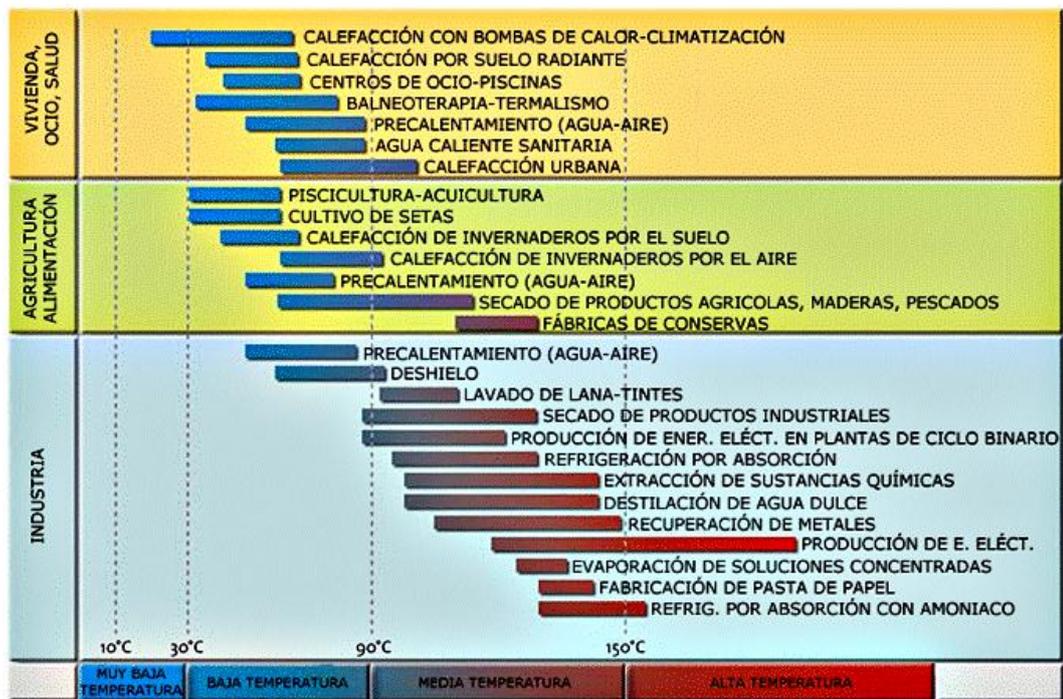


Figura 3. Usos de la energía geotérmica según su temperatura

Podemos observar en la figura 3 que para usos relativos a la vivienda doméstica se utiliza energía geotérmica de baja y muy baja temperatura, quedando la energía de media y alta temperatura para su utilización en procesos industriales.

El uso de la energía geotérmica de forma directa en los edificios se dirige a la climatización (frio/calor) ya sea con bombas de calor o por circulación de agua, así como la producción de agua caliente sanitaria.

#### **2.1.4. Propiedades. [1]**

A continuación enumeramos las propiedades más destacables de la energía geotérmica

- **Energía renovable**

Si lo medimos a la escala del planeta, la energía geotérmica es el recurso energético más grande que existe. Aunque la tierra se enfría, ya que desprende más calor que el que produce, lo hace a un ritmo muy lento; unos 130 °C cada mil millones de años, por lo que a escala humana el calor de la tierra es ilimitado.

- **Energía limpia**

Ninguna instalación que emplea energía geotérmica precisa quemar combustibles, por lo que no contribuye a la emisión de gases de efecto invernadero.

Las instalaciones que emplean bombas de calor geotérmica para climatización y producción de agua caliente solo consumen energía eléctrica para el funcionamiento de los compresores eléctricos, las bombas de circulación y los ventiladores en el interior del edificio, por lo que las emisiones equivalentes a esa producción de electricidad en origen son muy inferiores a la de los sistemas tradicionales.

Las bombas de calor utilizan sistemas de refrigeración sellados en fábrica que rara vez o nunca se recargan, por lo que no contribuyen a la destrucción de la capa de ozono.

La cantidad media de CO<sub>2</sub> emitida por las centrales geotermoeléctricas en el mundo es de 55 g/kWh, mientras que una central de gas natural emite 10 veces más.

Las centrales geotérmicas eléctricas modernas son muy compactas, ocupan menor superficie que las nucleares o de carbón, además de que no necesita transporte ni almacén de combustibles, por lo que pueden ser integradas más fácilmente en el paisaje.

- **Energía económica**

Un sistema con bomba de calor geotérmica para una casa individual supone un coste de inversión elevado, por regla general del doble de una instalación clásica de calefacción y refrigeración. Sin embargo, los costes de explotación son mucho más bajos que los de estos otros equipos, pues los costes de mantenimiento son generalmente muy reducidos y, fundamentalmente, porque su rendimiento energético elevado reduce el consumo de la energía de pago.

Siendo la inversión inicial elevada, el coste de explotación es bajo y cada vez será más competitivo con la explotación de las energías fósiles, donde los precios irán creciendo con el agotamiento de los recursos y las restricciones ambientales.

- **Energía eficiente**

Las instalaciones convencionales para climatización de edificios se diseñan generalmente para condiciones extremas. Gracias a la energía geotérmica, debido a la mayor estabilidad de las temperaturas del subsuelo, se podrán instalar bombas de calor de menor capacidad que si tuviesen que utilizar la temperatura ambiente exterior.

En climas con variaciones importantes de temperatura, las bombas de calor geotérmicas tienen mejores prestaciones que las bombas de calor que utilizan aire exterior, cuyo rendimiento baja considerablemente con las temperaturas extremas.

Un sistema geotérmico de climatización comparado con instalaciones clásicas permite ahorros de energía de 30 a 70% en calefacción y de 20 a 50% en climatización.

- **Energía continua**

La energía geotérmica, a diferencia de la energía solar, o la eólica, no depende del clima, de la radiación solar ni del viento. Está disponible 24 horas al día, 365 días al año.

- **Energía para todo el mundo**

A diferencia de las energías fósiles utilizadas hoy en día que se encuentran localizados en lugares concretos (desiertos, fondo del mar), los recursos geotérmicos están presentes en todos los continentes a disposición de la Humanidad.

- **Energía local**

Por su naturaleza, la energía geotérmica es una energía para consumir sobre el propio terreno. Reduce la dependencia de importaciones energéticas y asegura la regularidad en el abastecimiento, a la vez que disminuye las pérdidas energéticas derivadas del transporte de electricidad y la contaminación que provoca el transporte por carretera.

## **2.2. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA.**

### **2.2.1. Definición. Usos y ventajas**

El Sol además de ser el origen de prácticamente todas las energías Renovables ya que provoca en la Tierra diferentes presiones lo que da lugar a los vientos (energía eólica), evapora el agua, formando nubes y dando lugar a la lluvia (energía hidráulica), permite la vida y crecimiento de la materia vegetal (energía biomasa) es además

emisor directo de la radiación solar, que podemos aprovechar para la producción de energía (energía solar). [3]

La energía solar es la energía que se obtiene directamente del Sol y es una de las más importantes dentro del grupo de las energías Renovables.

Consiste en captar, por medio de diferentes tecnologías la radiación solar que llega a la Tierra con el objetivo de emplear esa energía para diferentes usos.

La energía solar puede ser tratada de dos formas:

- **Directa:** consiste en utilizar directamente la luz solar como energía, ya que esta por si sola calienta e ilumina.
- **Indirecta:** esta supone la utilización de sistemas de captación y almacenamiento que la transforman para producir energía utilizable y acumulable.

Dentro de la utilización indirecta encontramos la transformación en:

- **Energía térmica:** la radiación solar llega a los captadores solares térmicos y calienta los fluidos del que circulan por el interior. Este fluido se puede destinar para el agua caliente sanitaria (ACS), como apoyo a la calefacción, etc.
- **Energía termoeléctrica:** La captación y concentración de los rayos solares se hace por medio de espejos con orientación automática que apuntan a una torre central donde se calienta un fluido hasta temperatura muy altas, y este ya sea directamente o mediante intercambiadores, produce el movimiento de una turbina que genera electricidad.
- **Energía fotovoltaica:** la radiación solar llega a unos captadores que producen la transformación de esta en energía eléctrica. [6]

Ahora pasaremos a desarrollar más ampliamente le energía fotovoltaica, ya que va a ser objeto de estudio en nuestro proyecto para aplicarlo en una vivienda unifamiliar.

Como ya hemos apuntado, la energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la luz solar en energía eléctrica. Este tipo de energía supone, al igual que el resto de las renovables, un importante beneficio tanto económico como medio-ambiental.

La radiación solar es captada por los paneles fotovoltaicos, los cuales son el elemento generador de electricidad, resultante de la conexión de las células fotovoltaicas.

Los paneles fotovoltaicos están formados por unos dispositivos electrónicos llamados células fotovoltaicas. Son estas las que realizan el “**efecto fotovoltaico**” con el resultado de la transformación de la luz en electricidad.

La tecnología fotovoltaica permite realizar instalaciones que alimentan sistemas alejados de la red de distribución o con difícil acceso a esta, y pueden trabajar de forma independiente o combinada con sistemas de generación eléctrica convencional.

Sus principales aplicaciones son: [5]

- **Electrificación de:** sistemas de bombas de agua, repetidores de tv y telefonía, etc.
- **Electrificación de edificaciones aisladas:** para alumbrado, pequeños electrodomésticos, y pequeños consumos no destinados a calentamientos.
- **Alumbrado público aislado:** aparcamientos, áreas de descanso.
- **Balizado y señalización:** marítimos, viales, antenas, etc.
- **Conexión a la red de pequeñas centrales eléctricas** que permiten disminuir las pérdidas en la red.

En cuanto a las mayores ventajas de la utilización de esta tecnología para la generación de energía eléctrica podemos enumerar las siguientes:

- No produce polución ni contaminación ambiental.
- Es silenciosa.
- Tiene una vida útil superior a 20 años.

- Es resistente a condiciones climáticas extremas: granizo, viento, etc.
- No requiere un mantenimiento complejo, solo realizar de vez en cuando la limpieza del módulo solar y comprobar el estado de las baterías.
- Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente.
- No consume ningún combustible.

### 2.2.2. Historia [6]

A lo largo de la historia, tanto el ser humano como otros seres vivos han utilizado la energía solar tanto como opción energética como fuente de vida, pero no fue hasta mediados del siglo XIX cuando se descubrió la posibilidad de utilizar la luz solar como fuente para la producción de energía eléctrica.

Vamos a enumerar algunas fechas significativas en la historia de la energía solar fotovoltaica.

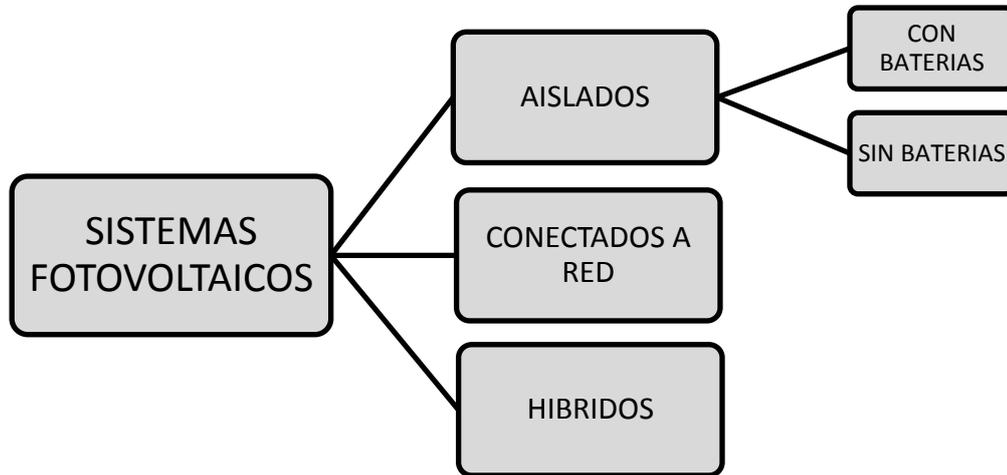
- **1839:** Edmund Becquerel descubre el efecto fotovoltaico, es decir, la conversión directa de la luz en electricidad, ya que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente cuando eran expuestos a la luz.
- **1873:** Willoughby Smith descubre el efecto fotovoltaico en el selenio sólido.
- **1877:** W. G. Adams y R. E. Day construyen la primera fotocélula del selenio.
- **1921:** Albert Einstein gana el premio Nobel por sus teorías de 1904 explicando el efecto fotovoltaico.
- **1954:** Los investigadores de los Laboratorios Bell (D.M Chaplin, C.S Fuller y G.L.Pearson) producen la primera célula fotoeléctrica de silicio con un 6% de rendimiento.

- **1958:** Lanzamiento del satélite Vanguard I, el primer satélite alimentado parcialmente con células fotovoltaicas.
- **1963:** En Japón se instala una estación fotovoltaica de 242W en un faro. Sharp consigue una forma práctica para la construcción de módulos de silicio.
- **Años 70:** Se fundan las primeras compañías dedicadas a la energía solar. Se construye “solar One”, la primera vivienda con células fotovoltaicas instaladas en la cubierta para generar energía eléctrica y producir calor. Las aplicaciones terrestres superan a las aplicaciones espaciales.
- **Años 80:** La producción mundial continúa aumentando, llegando a superar los 20 MW al año. Se crean células fotoeléctricas con 20% de rendimiento.
- **1992:** Se instala una planta fotovoltaica en la Antártida para abastecer los equipamientos de los laboratorios.
- **1994:** Se celebra la primera conferencia mundial fotovoltaica en Hawaii.
- **1998:** Se celebra la segunda conferencia mundial fotovoltaica en Viena. Se alcanzan los 1000 MW instalados.
- **2000:** Alemania y Japón despuntan a nivel mundial como productores, Alemania se pone a la cabeza como consumidor.
- **2004:** Comienza una política de grandes incentivos económicos para la instalación de centrales solares fotovoltaicas.
- **2009:** Hay más de 20.000 MW fotovoltaicos instalados por todo el mundo.

### 2.2.3. Tipos de sistemas fotovoltaicos [5]

Un sistema fotovoltaico es el conjunto de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas, independientemente de su utilización y del tamaño de potencia se pueden clasificar según el esquema siguiente:



**Figura 4.** Usos de la energía geotérmica según su temperatura

- **Sistemas aislados:**

Se utilizan para satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o es de difícil acceso. Normalmente están equipados con sistemas de acumulación de energía, ya que solo proporcionan energía durante el día.

- **Sistemas de conexión a red:**

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica.

Estas instalaciones cuentan con sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento a la hora de entregar la energía, evitando situaciones peligrosas.

- **Sistemas híbridos:**

En algunos casos el sistema fotovoltaico aislado se puede complementar con otro a fin de tener mayores garantías de disponer de electricidad. Esta combinación se da para aprovechar algún otro recurso energético localizado cerca de la instalación o para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía.

Normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otra generación eléctrica.

# 3

## Descripción de las instalaciones

### **3.1. SISTEMA DE CLIMATIZACION MEDIANTE ENERGÍA GEOTERMICA**

#### **3.1.1. Funcionamiento del sistema [2] [1]**

El sistema geotérmico de climatización de baja entalpia aprovecha la inercia térmica de la tierra a profundidades que van de 2 a 150 m. dependiendo si la instalación utiliza conductos de captación verticales, hasta 150 m de profundidad, u horizontales, a una profundidad entre 2 y 5 m. Se diferencia de la energía geotérmica convencional de agua caliente extraída a profundidades que pueden llegar hasta los 5 km, en que trabaja a temperaturas del terreno entre 0°C y 20°C dependiendo de la latitud. En España la temperatura del terreno en los primeros metros es de unos 15 °C.

La climatización se realiza aprovechando la diferencia de temperatura entre el subsuelo y el ambiente exterior, a través de un colector instalado bajo tierra que en

invierno aprovecha la temperatura más alta del suelo para la calefacción, y en verano la temperatura más baja para la refrigeración.

Para diferenciarlo del sistema geotérmico clásico de aprovechamiento del agua caliente a gran profundidad, el sistema se llama **geotérmico de bomba de calor**, en inglés se le conoce con las siglas **GHP** (Geothermal Heat Pump) o **GSHP** (Ground Source Heat Pump).

Como característica favorable respecto a la energía solar térmica es que este sistema no es afectado por las condiciones meteorológicas o estacionales, ya que la temperatura del subsuelo permanece constante durante todo el año.

El sistema puede actuar en lazo abierto o cerrado.

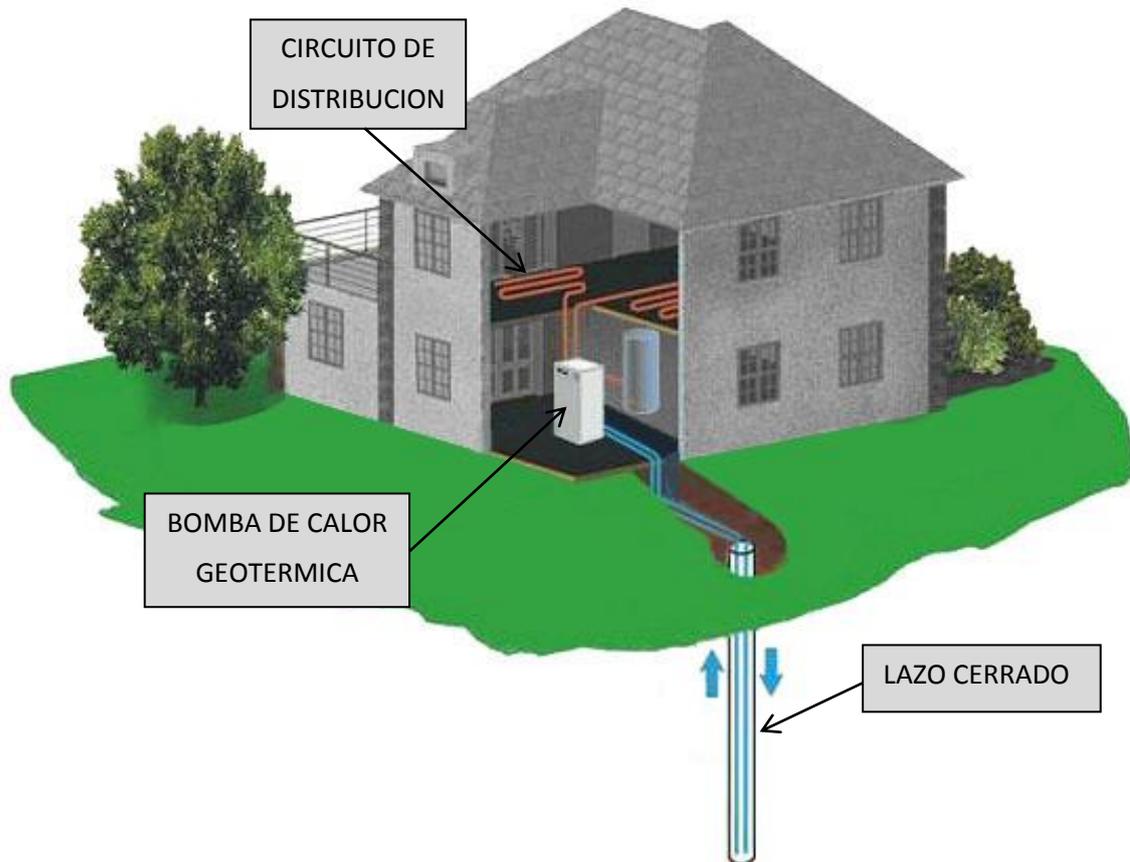
Se utiliza el sistema de lazo abierto en el caso de que se disponga en el terreno de una fuente de agua, un pozo, río, embalse, acequia o lago. La tubería colectora extrae el agua y la envía al intercambiador de calor de la bomba de calor y la retorna a una cierta distancia de su origen, sin contaminarla en el proceso. Este sistema es el preferible, ya que resulta más económico, pero no siempre es posible, pues las normas locales de sanidad pueden prohibirlo.

En el sistema de lazo cerrado disponemos un circuito por el que circula el líquido intercambiador y se compone básicamente de:

- **Red de tuberías enterradas** en el subsuelo, horizontales, verticales o sumergidas en lagos o estanques, con agua en su interior circulando mediante una bomba. La red actúa como un intercambiador de calor que toma el calor relativo de la tierra en invierno y el frío relativo en verano.
- **Bomba de calor geotérmica** con refrigerante en un circuito intermedio. El lado caliente del circuito comprime el gas y aumenta su temperatura, que se transmite al circuito de distribución de calor del edificio, mientras que el lado frío del circuito actúa a la inversa.

- El **circuito de distribución** del edificio puede incorporar, suelo radiante o bien radiadores o bien conductos de aire para repartir las frigorías o calorías generadas por el intercambiador enterrado en la tierra.

En nuestro proyecto vamos a utilizar un sistema de lazo cerrado dispuesto verticalmente.



*Figura 5. Sistema de lazo cerrado disposición vertical*

Cuando se pretende medir o cuantificar la eficiencia energética de un sistema esta se expresa utilizando términos de **COP** (Coefficient of Performance = Coeficiente de Rendimiento).

El COP expresa el grado de eficiencia del sistema de calefacción o refrigeración de la bomba de calor geotérmica y es el cociente entre la energía (calorífica o de refrigeración) que produce, dividida por la cantidad de energía empleada para

producirla. En nuestro caso será la electricidad la energía empleada para alimentar la bomba geotérmica.

Para una mejor comprensión lo explicaremos mediante un ejemplo numérico:

El valor típico del COP varía entre 3,5 y 5,5. Esto quiere decir:

$$\text{Si extraemos de la tierra 10 kW, solo nos cuesta } \frac{10}{3,5} = 2,86 \text{ kW}$$

$$\text{o bien, dependiendo de la bomba geotérmica } \frac{10}{5,5} = 1,81 \text{ Kw}$$

Además, el sistema en si, no genera CO<sub>2</sub>, exceptuando la energía eléctrica de alimentación de la bomba que puede producir CO<sub>2</sub> según se esté generando.

### 3.1.2. Componentes de la instalación [2] [7]

#### A. Bomba de calor geotérmica.

Las leyes que sobre la forma de comportarse los gases enunciaron Boyle, Mariotte, Charles y Gay-Lussac, no son más que el reflejo de un principio ya conocido desde muy antiguo por los físicos y que puede enunciarse así: ***“Un gas se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande”***. Este sencillo enunciado, casi evidente, es el origen de una de las máquinas con más difusión en la sociedad y con la que vamos a explicar el funcionamiento básico de una bomba de calor.

En efecto, los clásicos frigoríficos, tanto domésticos como industriales, utilizan este principio. Los denominados comúnmente “refrigerador” o “nevera” son armarios o cajones aislados térmicamente para que el calor no penetre dentro de dicho armario.

Dentro del refrigerador se dispone de un panel de captación, que contiene en su interior un circuito hidráulico, por el que circula un líquido refrigerante o un gas licuado. Este líquido tiende a evaporarse captando o “robando” rápidamente el calor introducido junto con el alimento. Una vez captado el calor en el líquido o gas, éste pasa a un compresor que lo comprime, consiguiendo así que aumente de temperatura.

Aumentada su temperatura en la compresión, se traspa por circulación al panel o circuito exterior (parte trasera de los refrigeradores).

El calor que transporta el líquido invadirá la ausencia de éste en el ambiente exterior, disipándolo fuera del refrigerador.

Este mecanismo es lo que se denomina una bomba de calor, y con ella se ha conseguido extraer el calor del interior del frigorífico y se ha disipado en el exterior.

Así pues, de una forma más general podemos definir una bomba de calor como un mecanismo que aprovecha las leyes de la termodinámica para mover el calor de forma ultra eficiente de un lugar a otro, en lugar de generarlo, como hace por ejemplo una caldera.

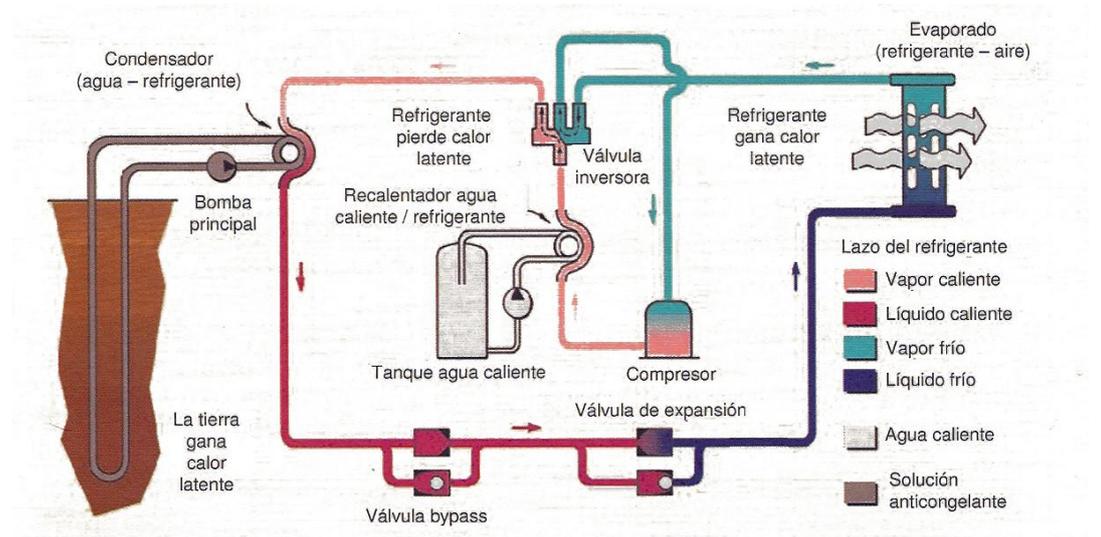
Para lograrlo, convierte el líquido refrigerante que circula por su interior en gas de forma mecánica. El gas absorbe el calor de donde nosotros queremos extraerlo, y el compresor, que es el único proceso que consume electricidad, comprime el gas para pasarlo de nuevo al estado líquido, extrayendo el calor, que podemos aplicar después donde más nos interesa.

Si se consigue aprovechar el frío en el evaporador (válvula de expansión) para enfriar un ambiente en verano, y el calor en el condensador (compresor) para calentar el mismo ambiente en invierno, se habrá conseguido alcanzar el concepto de climatización.

Un aparato de aire acondicionado es una bomba de calor semejante a un frigorífico, pero que dispone de componentes adicionales que permiten enviar calor en cualquiera de los dos sentidos. Por lo tanto lo que hace es expulsar al aire de la calle el calor que hay en nuestra casa en verano, e introducir en invierno aire caliente.

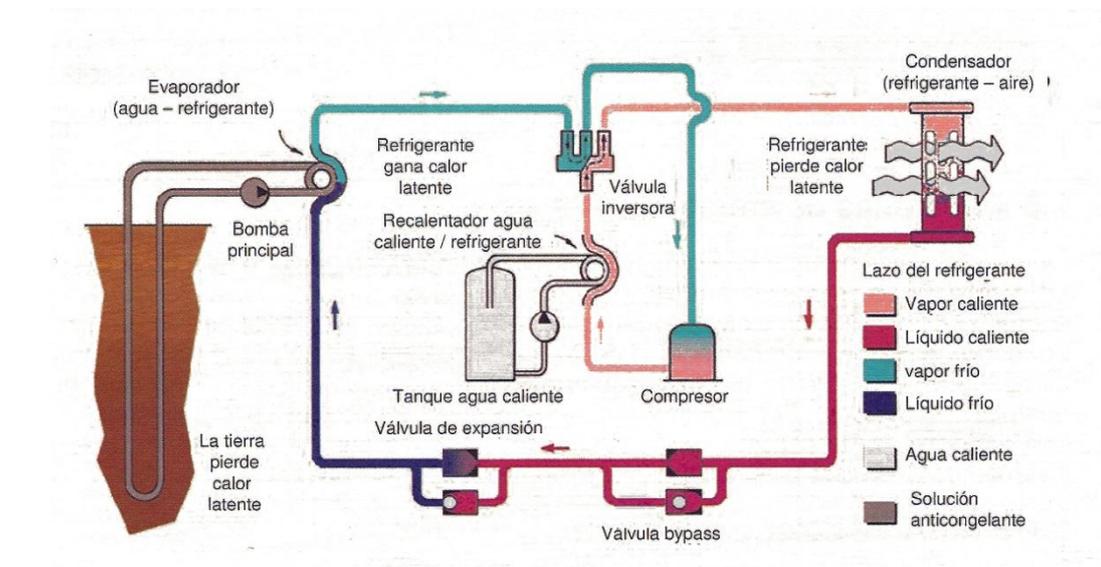
Pues bien, la bomba de calor geotérmica hace lo mismo que la máquina de aire acondicionado pero el lugar de intercambiar el calor con el aire de la calle, lo intercambia con el subsuelo, que mantiene una temperatura homogénea de 15°C a lo largo de todo el año.

En el sistema de lazo cerrado, empleado en nuestro proyecto, circula una solución anticongelante, como fluido de transferencia, por las tuberías enterradas verticalmente.



**Figura 6. Bomba de calor geotérmica en modo refrigeración**

En verano el terreno es más frío que el aire con lo que las tuberías condensan el refrigerante a temperaturas más bajas, mientras que en invierno es al revés y las tuberías evaporan el refrigerante a temperaturas más altas.



**Figura 7. Bomba de calor geotérmica en modo calefacción**

Dependiendo de los fluidos de entrada y de salida, las bombas de calor geotérmica son básicamente:

- Bombas de calor **agua-agua**: Utilizan como fuente de calor el de la tierra o el del agua freática, o de ríos, lagos, etc. y transfieren el calor a radiadores.
- Bombas de calor **agua-aire**: Utilizan la misma fuente de calor anterior (tierra o agua freática o de ríos y lagos) y lo transfieren mediante aire en conductos situados en la vivienda o edificio.

Este último tipo agua-aire es la que vamos a utilizar en nuestra vivienda.

Las bombas de calor pueden tener una potencia de 2 kW hasta 27 kW, y sus capacidades de calefacción y refrigeración se expresan en kW (Europa).

La instalación se puede conectar a suelo radiante, sistema de radiadores o a cualquier sistema de calefacción y refrigeración cuyo fluido de transmisión sea el agua.

Nos encontramos pues con un aparato de gran eficiencia que puede obtener calor de la tierra que tenemos a nuestro alrededor utilizando una pequeña cantidad de energía eléctrica, que nos devuelve en forma de calor multiplicada por 4 o 5. Además no contamina ni perjudica al medio ambiente, y tiene un mantenimiento mínimo.

Como inconveniente podríamos citar que tiene un coste inicial elevado, como unas 2,5 veces el de otros equipos, debido especialmente al coste realización de los pozos para las tuberías intercambiadoras.

## **B. Sistema de tuberías**

La red de tuberías enterradas contiene un líquido anticongelante (por ejemplo propilenglicol) que es impulsado por una bomba. Como la temperatura del suelo es constante se produce una transferencia de calor en invierno o de frío en verano que mediante la bomba de calor se transfiere a la vivienda.

El sistema de tuberías o colectores puede ser de cobre recubierto de polietileno reticulado (PER), y se implanta mediante excavación o perforación, según sea el tipo seleccionado (lazo abierto o lazo cerrado) que depende el terreno y sus características.

Nosotros vamos a utilizar la instalación de lazo cerrado, por donde el fluido circula continuamente, en circuito cerrado, sin tener contacto alguno con la tierra que rodea el sistema.

Podemos encontrar diferentes tipos de circuitos en lazo cerrado:

- **Horizontal.** Los lazos de tubería se disponen en trincheras paralelas a una profundidad de 1 a 3 m, y en cada trinchera se puede disponer de 1 a 6 lazos. La longitud de las trincheras puede ser de 8,5 a 34 m por kW, dependiendo del terreno y del número de lazos. Es necesario ocupar entre 40 y 85 m<sup>2</sup> de terreno por kW del sistema, dependiendo de la temperatura media y de las propiedades del terreno. Podemos observar entonces que es primordial tener una gran área de terreno disponible para la instalación de este sistema.
- **Espiral.** Es igual a la horizontal, pero con la diferencia de que las tuberías están enrolladas en espiral, lazos circulares que se solapan y que pueden instalarse en vertical u horizontal.
- **Vertical.** Los conductos se entierran mediante catas que pueden variar de 5 a 60 m de profundidad, dependiendo del espacio que se tenga, de la sequedad del terreno y de la cantidad de perforaciones que se realicen.

Este sistema es el más adecuado cuando no hay mucho espacio disponible, ya que requiere de 4 a 8,5 m<sup>2</sup> por kW del sistema.

- **Sumergido.** La red está sumergida en un lago o un estanque.
- **Híbrido.** Unión de uno de los sistemas anteriores con otro de calefacción o refrigeración.

Para el buen funcionamiento del sistema, el fluido que circula por el lazo cerrado debe tener una protección anti hielo cuando su temperatura baja a menos de 4°C al salir del terreno y entrar en el edificio.

Existen una gran variedad de soluciones anticongelantes para circuitos geotérmicas de bomba de calor (alcoholes, glicoles, sales), pero los más recomendados son el metanol y el propilenglicol.

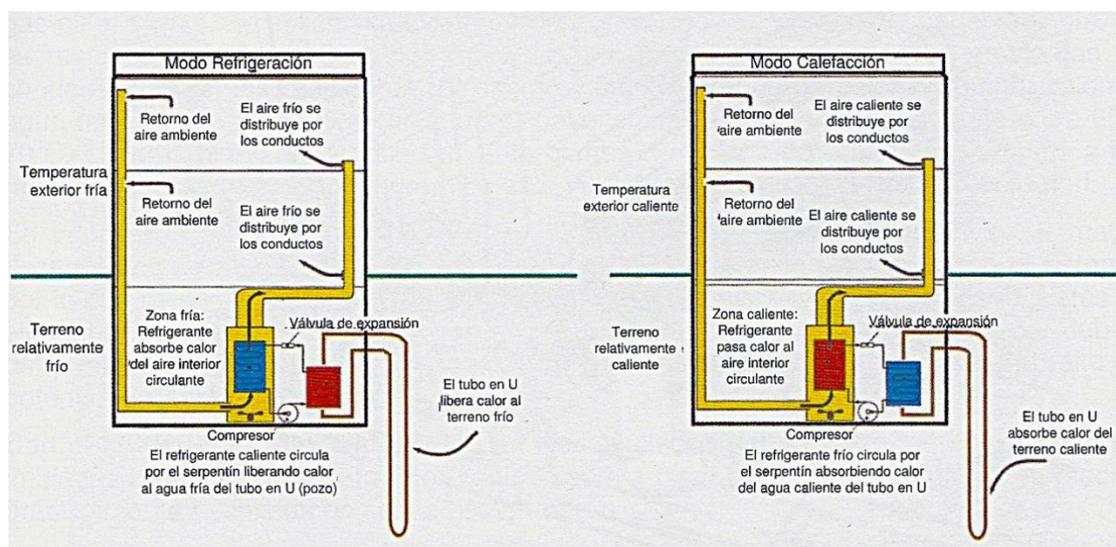
### C. Sistemas de calefacción/refrigeración en viviendas.

La calefacción y/o refrigeración de la vivienda con la bomba de calor geotérmica de baja temperatura, puede realizarse de tres formas:

#### a) Por conductos de aire en las habitaciones

En el modo calefacción, la bomba de calor agua-aire absorbe el calor del terreno y, a través de un intercambiador de calor, el refrigerante calienta el aire. Este es dirigido a través de conductos a las diferentes habitaciones en la misma forma que lo haría si la vivienda tuviera aire acondicionado.

En el modo de refrigeración, el refrigerante absorbe calor del aire interior que circula por los conductos y a través del serpentín exterior del evaporador, libera calor al agua fría que circula por el tubo en U del pozo perforado en el terreno.



**Figura 8. Calefacción - refrigeración con bomba de calor agua-aire**

La bomba de calor agua-aire debe impulsar más volumen de aire que en un sistema normal de aire acondicionado.

Por lo tanto, el instalador debe dimensionar adecuadamente los conductos para un mayor caudal de aire y además debe aislarlos acústicamente, por lo menos en los primeros metros y debe colocar además una unión flexible entre la bomba de calor y el conducto principal para evitar vibraciones. El ruido que emite la bomba de calor es bajo, del orden de unos 47 a 60 dB.

#### **b) Con agua en suelo radiante**

Está formado por múltiples tuberías de polipropileno embebidas en el suelo de hormigón y separadas en las áreas de las habitaciones, con control independiente de temperatura.

Para un correcto funcionamiento de la instalación hay asegurarse de que la diferencia de temperaturas entre el lazo cerrado del pozo y el sistema de distribución del agua caliente sea el adecuado para obtener el máximo rendimiento de la bomba de calor. Cuanto mayor sea la diferencia tanto menor será el rendimiento.

#### **c) Con radiadores de agua**

Permite aprovechar los existentes y disponer del apoyo de la caldera de gas natural o gasoil existente. Asimismo, como la bomba de calor no puede calentar agua más allá de 50 °C y los radiadores convencionales trabajan normalmente entre 65 y 70°C, como mínimo, se deduce que si únicamente la bomba de calor alimenta a los radiadores, éstos deberían tener una mayor superficie para tener la misma efectividad.

## **3.2. SISTEMA FOTOVOLTAICO DE CONEXIÓN A RED**

### **3.2.1. Funcionamiento del sistema [3]**

La energía solar fotovoltaica consiste en el aprovechamiento de la luz del sol para producir energía eléctrica por medio de células fotovoltaicas. La célula fotovoltaica es un dispositivo electrónico basado en semiconductores de silicio, que genera una

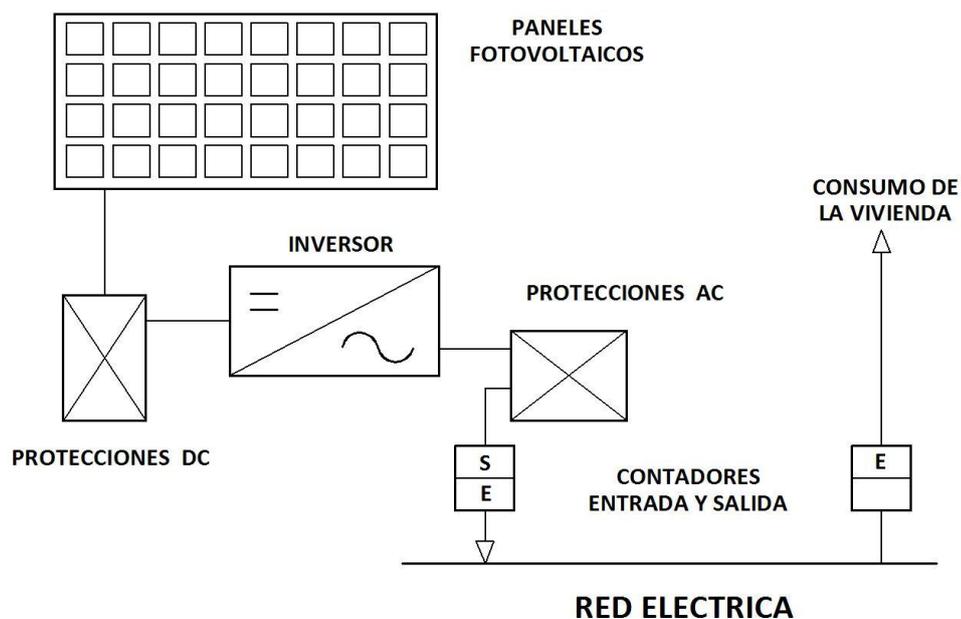
---

corriente eléctrica de forma directa al recibir luz solar, por medio del efecto fotoeléctrico.

Las células fotovoltaicas se combinan en serie, para aumentar la tensión (V) o en paralelo, para aumentar la corriente, dando lugar a los paneles fotovoltaicos que suelen incorporar varias decenas de células individuales encapsuladas en un mismo marco consistente. Los paneles a su vez pueden combinarse en serie y paralelo para conseguir los voltajes y potencias adecuados a cada necesidad.

El conjunto de paneles solares fotovoltaicos conectados se denomina “campo fotovoltaico”. Lo que obtenemos de un campo fotovoltaico al incidir la luz, es un voltaje y una corriente eléctrica continua, es decir con un polo positivo (+) y otro negativo (-).

Mediante un dispositivo electrónico de potencia, denominado inversor, podemos acondicionar la potencia eléctrica obtenida del campo fotovoltaico y modificarla de manera que sea igual que la que circula por las líneas de baja tensión que alimentan nuestras viviendas, industrias y servicios.



**Figura 9. Esquema de un sistema fotovoltaico conectado a red.**

Conectando la salida del inversor a la red eléctrica, inyectamos esa potencia para que la consuma cualquiera que lo demande en ese momento, convirtiéndonos en productores de energía eléctrica y obteniendo unos beneficios económicos. Para ello ubicamos un contador antes de la conexión a la red y facturamos la energía producida a la compañía eléctrica correspondiente.

Hay que dejar claro que la energía eléctrica producida se vende en su totalidad a la compañía eléctrica, por lo que no se utiliza nada de esa electricidad para autoconsumo.

El beneficio se obtiene al vender el kW producido por nuestro sistema a un precio muy superior al de la electricidad de mercado según ley. Por lo que en unos pocos años se amortiza la inversión inicial y después todo lo que se obtiene son beneficios, exceptuando un pequeño mantenimiento, hasta el final de la vida útil de la instalación que se estima en más de 30 años.

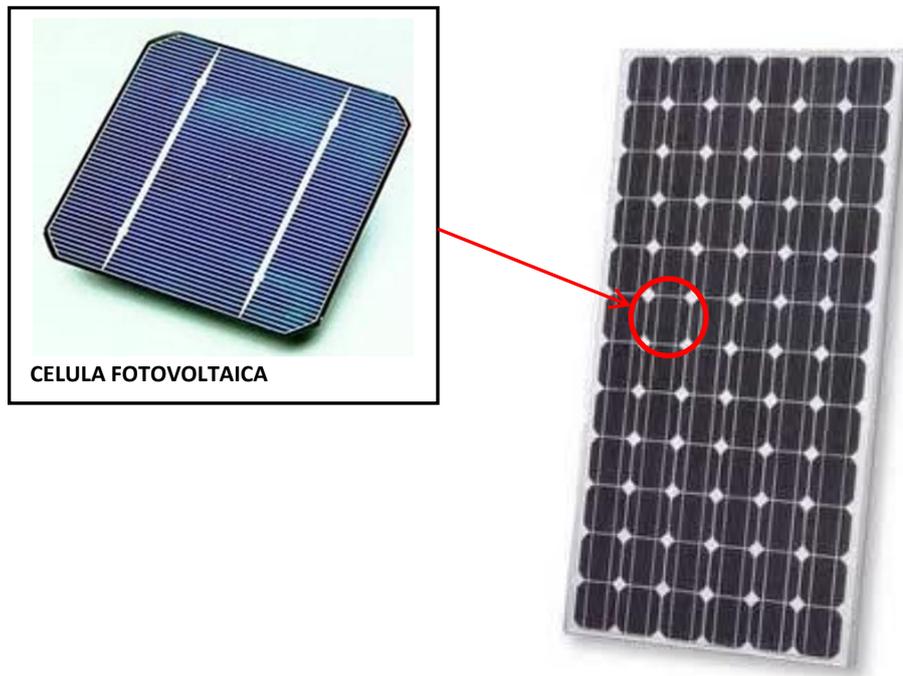
Este tipo de actividad está regulada por el estado mediante el R.D.1565/2010, que fija las primas que se conceden a las diferentes tipos de instalaciones según su potencia de producción y su situación (techo o suelo).

### **3.2.2. Componentes de la instalación [4]**

La instalación está compuesta por los paneles fotovoltaicos, su estructura de soporte, el inversor de conexión a red, y se completa con el cableado y protecciones.

#### **a) Paneles Fotovoltaicos.**

La primera característica de un panel o módulo fotovoltaico es su potencia pico o potencia nominal, que es la cantidad máxima de potencia que podríamos obtener del panel en condiciones casi perfectas de radiación y temperatura que normalmente no se suelen llegar a dar. Por eso se denomina “pico”, ya que en la práctica es un nivel máximo. La potencia pico vendrá dada por la eficiencia de las células y por el número de ellas, es decir por el tamaño del módulo.



**Figura 10. Módulo fotovoltaico.**

Un parámetro fundamental de los módulos relacionado con la potencia es el margen de variación en la potencia nominal, que suele ser un más menos ( $\pm$ ) que aparece después de la potencia pico, e indica que la potencia pico REAL del panel, andará en torno a ese margen. Es importante que este parámetro sea muy bajo ya que la dispersión en la potencia nominal de varios módulos produce sensibles pérdidas de potencia, lo que se denominan pérdidas por “mismatch”.

Otros parámetros importantes de los paneles son los coeficientes de pérdidas por temperatura, que indican el grado de pérdida de rendimiento del panel según se va calentando. El calor es uno de los principales enemigos en la generación fotovoltaica.

#### **b) Inversor de Conexión a red**

El inversor es la pieza clave de la generación fotovoltaica. De hecho su potencia es la que marca la potencia de la instalación completa. Su misión es transformar la corriente continua generada en el campo fotovoltaico en corriente alterna lista para ser consumida. A pesar de esa importante misión su tamaño es reducido y su precio no suele llegar al 10% de proyecto completo.

Sin embargo es preciso seleccionar un equipo que cumpla con todas las medidas de seguridad que exige la legislación, que disponga de los correspondientes certificados y homologaciones, y que tenga el mayor rendimiento.

Para la medida del rendimiento se toma en consideración el rendimiento europeo, que es una media ponderada sobre unas mediciones de rendimiento en unas determinadas circunstancias y que es certificada por determinados laboratorios europeos acreditados para ello.



**Figura 11. Inversores de corriente y protecciones.**

El inversor también incorpora una serie de protecciones, tanto para la instalación solar como para la red eléctrica, que son obligatorias en la legislación española.

Como toda la energía pasa por el inversor, es habitual que incorporen también tarjetas o elementos de comunicaciones que informan acerca del estado de la instalación, de la energía generada o que generan alarmas en caso de averías o mal funcionamiento. Estas comunicaciones pueden ser locales en forma de display o conexión directa a ordenadores, o remotas vía GPRS, SMS o Internet.

### c) Estructura

Es la encargada de fijar el campo fotovoltaico a lugar donde esté ubicada sea, terreno, tejado, seguidor, etc... y protegerlo de las inclemencias meteorológicas como el viento o la nieve.

A menudo en las instalaciones se tiende a quitar importancia a la estructura sin darse cuenta de que tiene que aguantar el paso del tiempo con igual calidad que los módulos, es decir, durante 25 años como mínimo.



*Figura 12. Estructura para módulos fotovoltaicos*

Por ello es importante utilizar como material acero galvanizado en caliente o incluso acero inoxidable. El uso de otro material puede dar lugar a que al cabo de 15 años de funcionamiento un vendaval destruya la instalación dando al traste con la rentabilidad de todo el conjunto.

Además la estructura debe proporcionarnos la flexibilidad necesaria para poder realizar la instalación sobre la superficie que nos resulte más conveniente adaptándose a las circunstancias de cada caso.

#### **d) Seguridad y Cableado**

La instalación se completa con protecciones, cableado, toma de tierra y contadores.

Se instala un cuadro eléctrico en el cual van ubicadas las protecciones e interruptores necesarios y el contador de energía. Además La instalación debe disponer de su propia toma de tierra.

Los tramos de cableado deben cumplir el reglamento electrotécnico de baja tensión en ambos tramos, el de continua desde el campo al inversor, y el de alterna desde el inversor a la red.

#### **e) Seguidores solares**

Un tipo de instalación especial es la que no está fija sobre el suelo sino que gira siguiendo el movimiento del sol en el arco celeste, mediante un girasol mecánico denominado “seguidor solar”.



*Figura 13. Seguidor solar instalado en tejado.*

La gran ventaja de los seguidores solares consiste en que la radiación solar es siempre perpendicular a los módulos llegando a generar un 30% -35 % más de energía que la misma instalación sobre superficie fija.

Los inconvenientes de los seguidores son el sobre coste, y el mantenimiento que debe ser realizado para evitar averías mecánicas.

Con los seguidores solares se maximiza la inversión pero a costa de perder seguridad ya que los seguidores pueden dar al traste de toda la inversión, si no se consigue que aguanten 25 años perfectamente operativos. En resumen, más ingresos pero con más riesgos.

### **3.2.3. Marco legal [7]**

El marco legal en que se encuadran las instalaciones fotovoltaicas es el de los productores de energía eléctrica en régimen especial.

La norma más importante en este campo es el **Real Decreto 1565/2010**, que sustituye al 1578/2008, por el que se regulan y modifican determinados aspectos relativos a la actividad de producción de energía eléctrica en régimen especial, y se establece la metodología para la actualización y sistematización del régimen jurídico y económico de la actividad de producción de energía eléctrica.

Este nuevo decreto establece modificaciones importantes respecto a los anteriores decretos 1578/2008 y 616/2007 que suponen un paso atrás en las expectativas de futuro de los empresarios fotovoltaicos en cuanto a la obtención de suculentos beneficios que tenían asegurados por las leyes anteriores.

- Se reduce la tarifa fotovoltaica en un 5% (instalaciones de techo pequeño), 25% (instalaciones de techo medianas) y 45% (instalaciones de suelo).
- Se aplica retroactividad suprimiendo el derecho a la percepción de prima equivalente para las instalaciones fotovoltaicas a los 25 años de vida útil.

Junto a esta norma también es importante el Real Decreto 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión, en el cual se establecen los requisitos técnicos de dichas conexiones.

Con este marco jurídico el titular de una instalación fotovoltaica conectada a red, pasa a ser un productor de energía eléctrica en régimen especial. Factura a la compañía eléctrica, y está obligado a realizar las declaraciones trimestrales de IVA. No es necesario ni el alta en autónomos, ni seguridad social, ni impuesto de sociedades, ni Impuesto de actividades económicas.

Para conseguir la conexión a red de la instalación fotovoltaica solo es necesario seguir unos trámites burocráticos, realizar una inversión inicial, y disponer unos avales. Se pueden consultar los trámites necesarios en el Anexo 4.

# 4

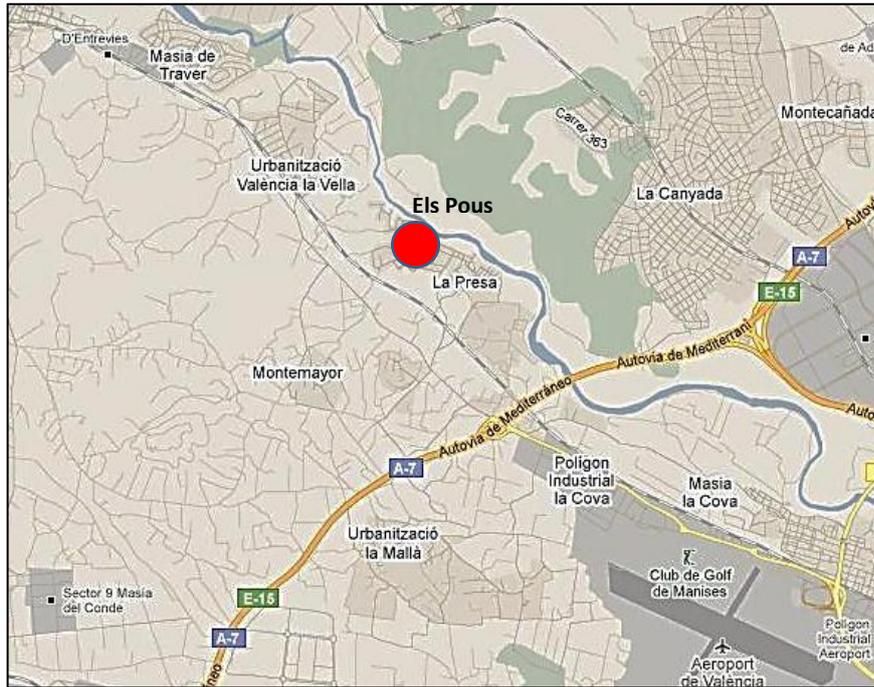
## Descripción de la vivienda y cálculo de la demanda energética

### **4.1. MEMORIA DESCRIPTIVA DE LA VIVIENDA**

El edificio al que vamos aplicar el presente proyecto consiste en una vivienda unifamiliar tipo aislada construida en una parcela de 500 m<sup>2</sup>.

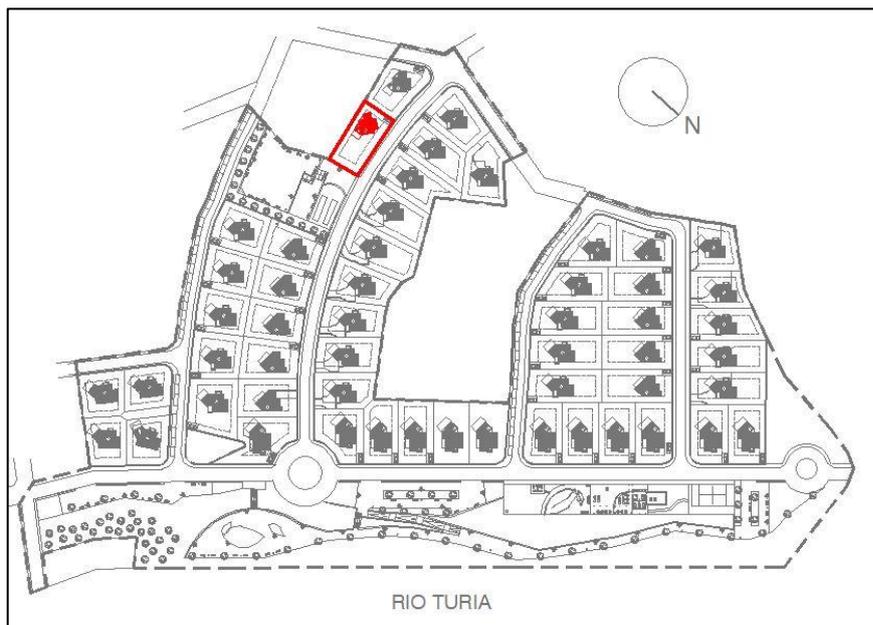
Se encuentra situada en el término municipal de Ribarroja del Turia (Valencia), en una zona denominada Els Pous.

La vivienda está emplazada dentro de la urbanización “Lliri Groc”, constituida por un total de 51 viviendas similares construidas en el año 2008.



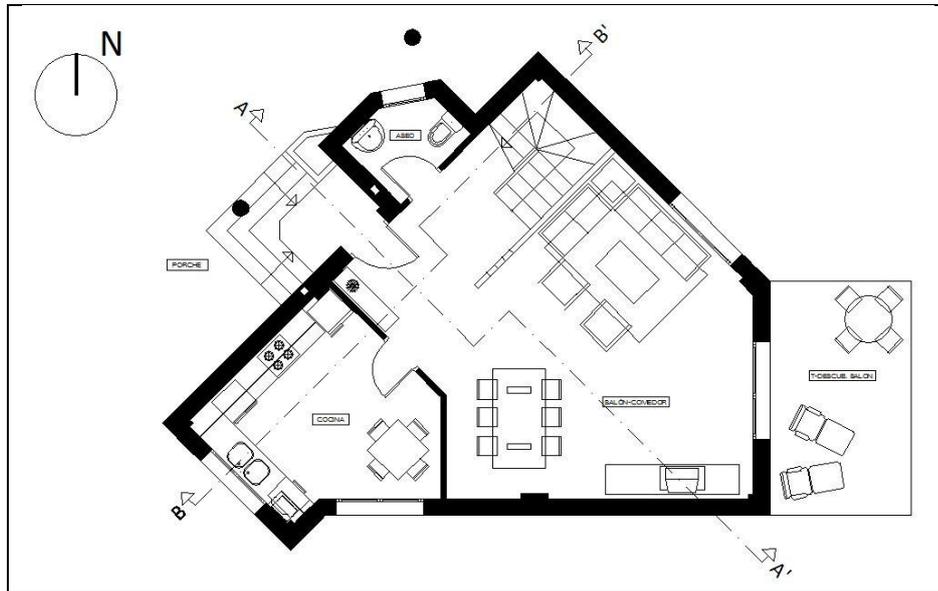
**Figura 14. Situación de vivienda unifamiliar (fuente: google maps).**

La urbanización está enclavada en medio de la naturaleza, situada a 200 metros del río Turia y el corredor natural denominado Parque Fluvial del Turia. Se pueden observar grandes desniveles del terreno en toda la zona. Entre las diferentes parcelas, e incluso dentro de una misma parcela.



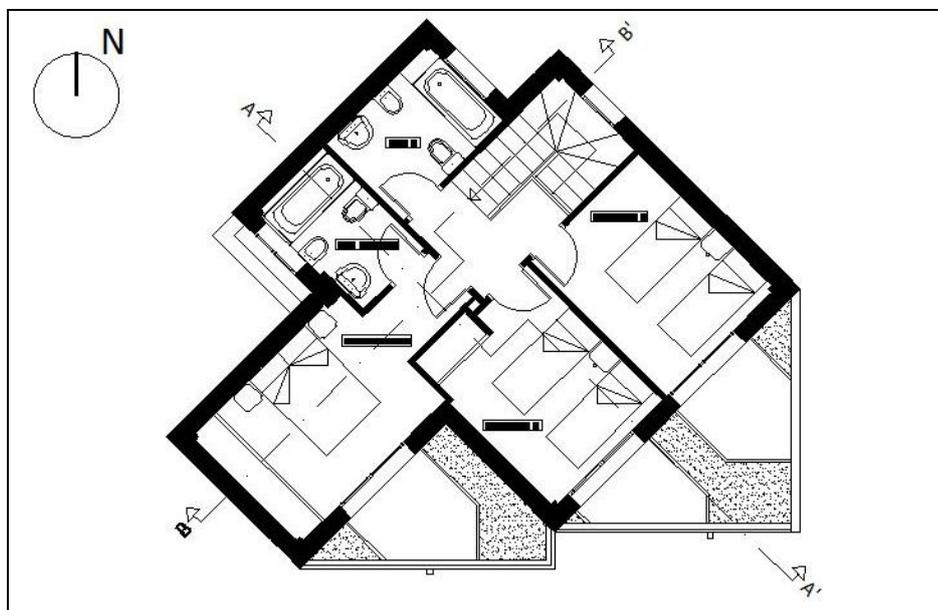
**Figura 10. Emplazamiento de la vivienda. Urbanización "Lliri Groc".**

Su distribución es la siguiente:



*Figura 15. Distribución de vivienda planta baja.*

**Planta baja:** Salón comedor, cocina, terraza descubierta, aseo, acceso integrado con salón comedor y escalera de acceso a planta primera.



*Figura 16. Distribución de vivienda planta primera.*

**Planta primera:** Tres dormitorios, dos dobles y uno principal de matrimonio, dos baños, uno de ellos integrado en el dormitorio principal y terraza descubierta ajardinada.

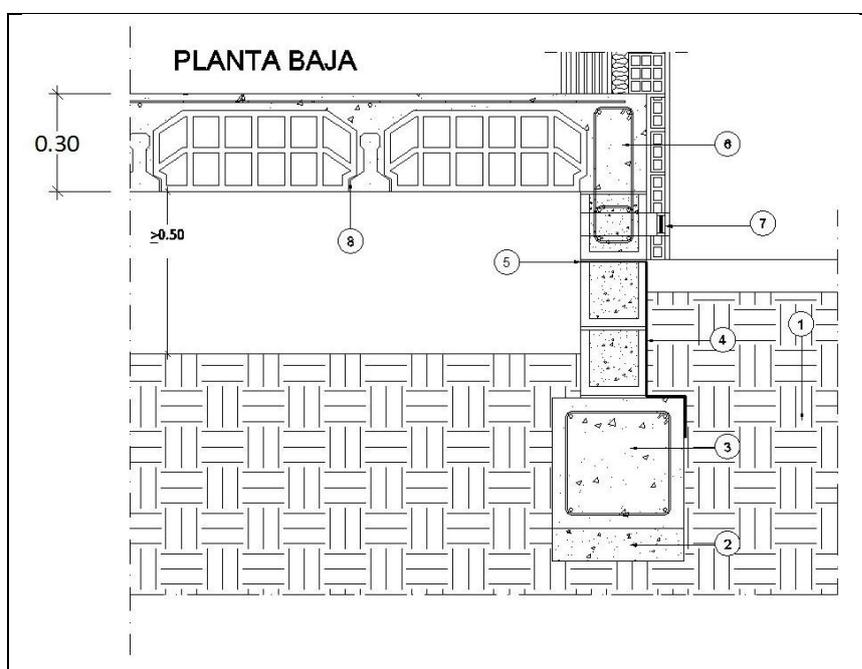


## 4.2. MEMORIA CONSTRUCTIVA DE LA VIVIENDA

Describimos a continuación los elementos constructivos de la vivienda que afectan a la realización del presente proyecto.

- **Cimentación y estructura**

Cimentación formada por zapatas aisladas de hormigón armado. Y la estructura a base de pilares de hormigón armado, vigas y zunchos. La vivienda se ha construido sobre un forjado sanitario con canto de 30 cm. Apoyado sobre muros de bloque de hormigón.



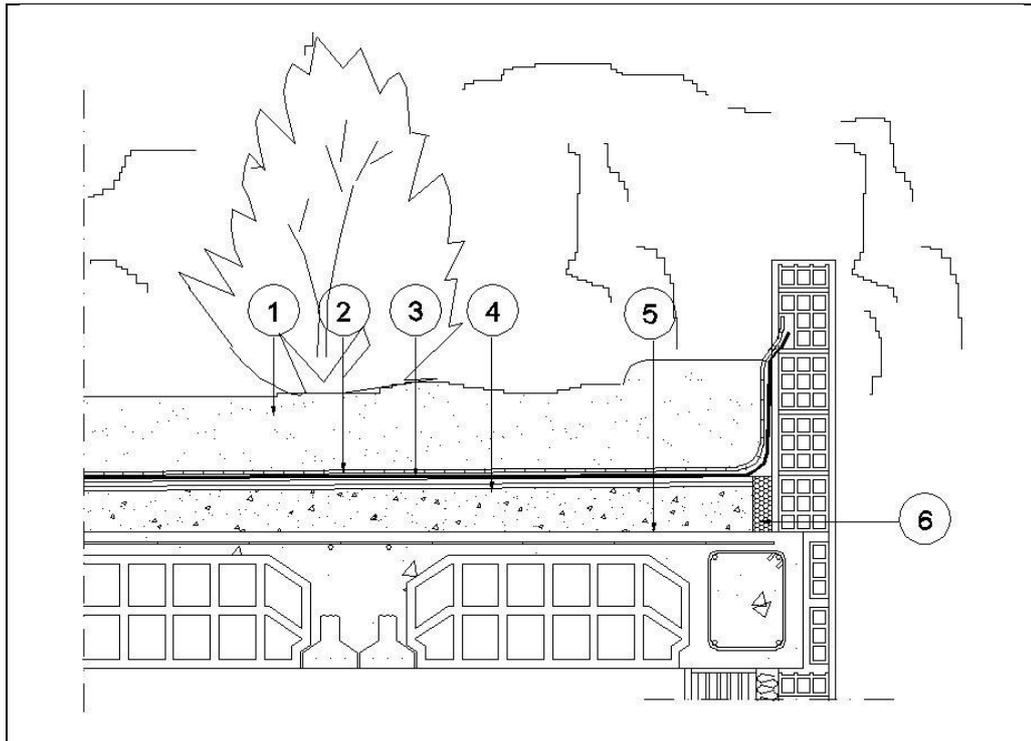
**Figura 18. Cimentación y forjado.**

La cimentación y estructura está resuelta según el detalle (figura 10):

1. Terreno natural.
2. Hormigón de limpieza.
3. Riostra de hormigón armado.
4. Lámina impermeable de betún modificado lbm-40.
5. Barrera anti-humedad.
6. Zuncho de atado.
7. Rejilla de ventilación de forjado sanitario.
8. Vigüeta auto resistente prefabricada de hormigón.

- **Cubiertas**

La vivienda dispone de dos tipos de cubiertas. Una del tipo plana transitable que coincide con las terrazas de los dormitorios de la planta primera, y otras del tipo ajardinadas no transitables que corresponden a la cubierta de la planta primera.

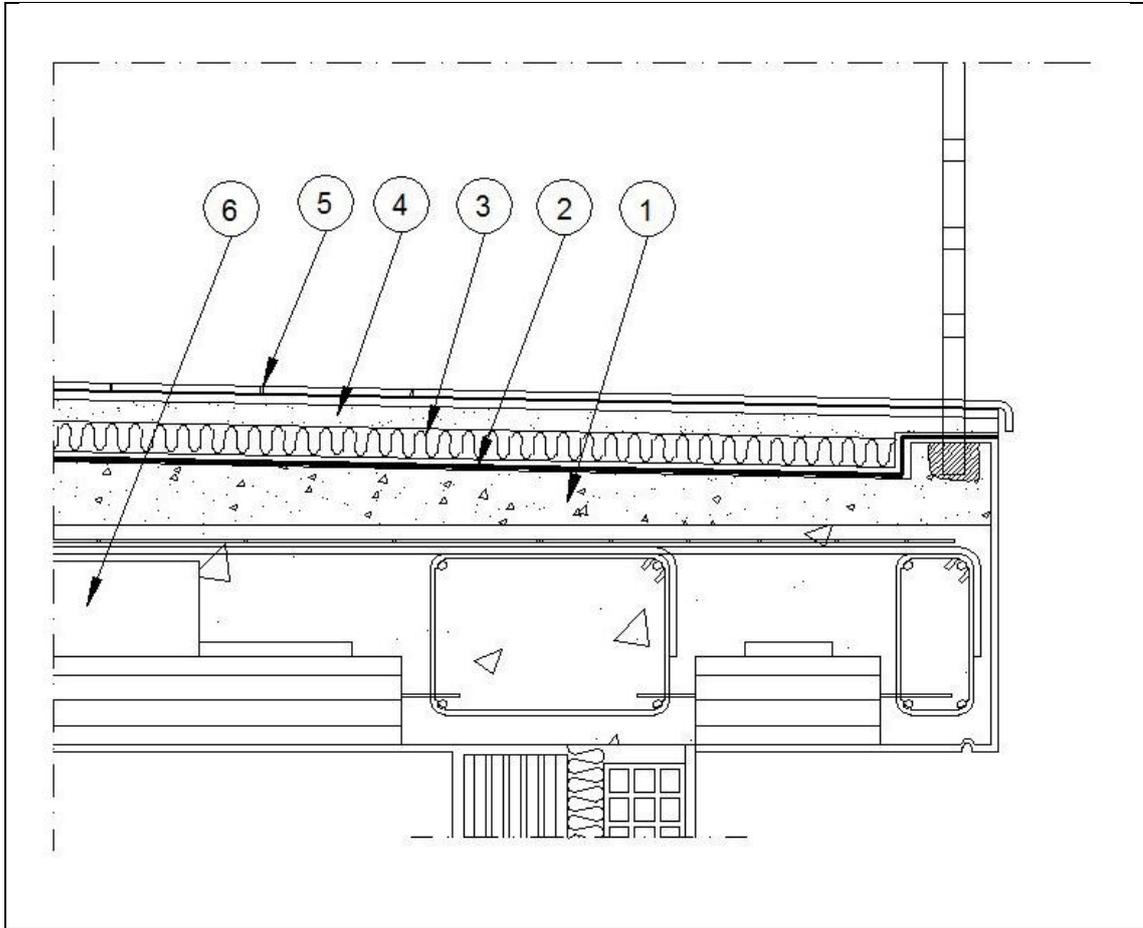


**Figura 19. Cubierta ajardinada**

La cubierta ajardinada está resuelta de la siguiente manera:

1. Capa vegetal e. Máximo= 30cm
2. Lamina geotextil
3. Lámina impermeable de betún modificado lbm-40 (1cm) estándar antipunzonamiento.
4. Hormigón celular para formación de pendientes (12 cm)
5. Forjado de hormigón armado y viguetas (30 cm)
6. Junta compresible de poliestireno expandido. E=5cm

La cubierta plana transitable está resuelta de la siguiente manera:

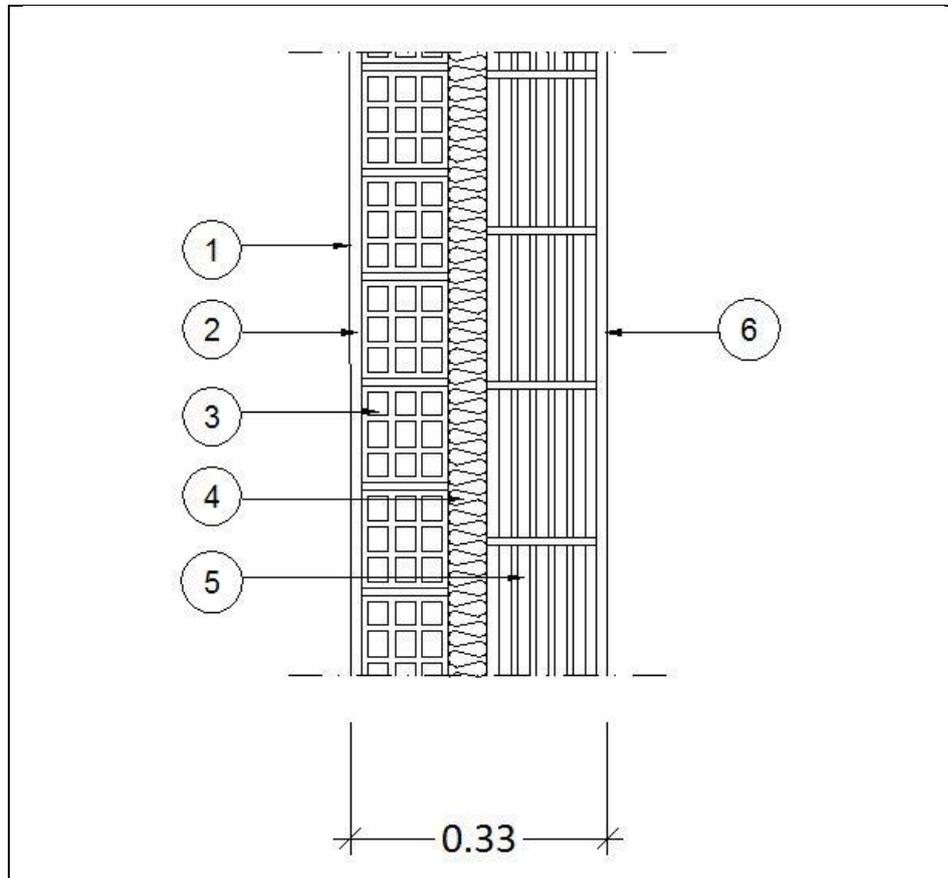


**Figura 20. Cubierta plana transitable.**

1. Forjado de hormigón armado y viguetas (30 cm).
2. Hormigón celular para formación de pendientes (12 cm).
3. Lámina impermeable de betún modificado lbm-40 (1cm).
4. Aislamiento poliestireno extruido (5 cms).
5. Capa de regularización para colocación de pavimento (2cm).
6. Solado de gres para exteriores (2cm).

- **Albañilería**

Toda la tabiquería interior se realizará con fábrica para revestir, de 7 cm de espesor.



**Figura 21. Cerramiento exterior de fachada.**

1. Revestimiento pétreo transpirable.
2. Enfoscado de mortero mixto de cal (1,5 cm).
3. Ladrillo cerámico hueco 24 x 11,5 x 11 cm
4. Aislamiento térmico y acústico de paneles napa (4 cm)
5. Tabicón de termoarcilla (14 cm).
6. Tendido de yeso proyectado (1,5 cm).

- **Revestimientos continuos**

Enlucido de yeso en zonas interiores enlucido de yeso de 1.5 mm de espesor.

Los cerramientos exteriores, superficies vertical y horizontal de garaje, bóveda de escalera, y antepechos de cubierta están revestidos con enfoscado de mortero de cemento.

Falso techo de escayola en baños, cocina y distribuidores.

- **Alicatados y chapados**

Los baños y cocinas con azulejo cerámico, combinados en los baños con cenefas perimetrales en ambos casos.

- **Pavimentos**

La vivienda está pavimentada con baldosas de gres. Las zonas húmedas también con pavimento de gres.

Las terrazas con baldosas de gres antideslizante para exterior.

- **Carpintería exterior**

En salón y dormitorios está realizada de aluminio lacado, con persiana incorporada sistema monoblock. Las ventanas son correderas y abatibles, y las balconeras correderas de doble hoja.

La puerta de acceso a cada vivienda será de chapa metálica, prensada e inyectada con cerradura de seguridad.

- **Carpintería de madera**

Las puertas de paso interior están realizadas de tablero aglomerado y ciegas, excepto en la cocina que tiene una parte acristalada.

- **Fontanería, aparatos sanitarios y grifería**

Toda la red de distribución de agua caliente y fría de la vivienda esta realizada con tubería de polietileno reticulado.

La red principal de evacuación y pluviales se compone de bajantes y colectores de polietileno de alta resistencia.

- **Instalación eléctrica**

La instalación eléctrica de la vivienda dispone de una caja general de protección (C.G.P.) situada junto a la valla del límite de la parcela. Desde estas cajas parte la línea repartidora a la vivienda hasta llegar a la caja de distribución.

La instalación interior de las viviendas está realizada mediante conductores aislados bajo tubos protectores empotrados en tabiques, techos, muros y cielo raso de la vivienda. Cuenta con un grado de electrificación elevado de 9.200 W y ocho circuitos.

- **Instalaciones de telecomunicación**

La vivienda dispone de instalación completa de radio y televisión terrestre individual, mediante la colocación de antenas de recepción de TV y teléfono. Dispone de cinco tomas (salón, cocina, dormitorio principal y dos dormitorios).

- **Pinturas**

Las paredes y techos interiores están pintados con pintura lisa transpirable y los exteriores con revestimiento pétreo liso para exteriores.

Los elementos exteriores de cerrajería acabados con esmalte sobre capa de imprimación.

- **Vidrios**

El acristalamiento de todas las carpinterías exteriores esta realizado con doble vidrio aislante tipo climalit 4/8/4.

## 4.2. CALCULO DE LA DEMANDA ENERGETICA

### 4.2.1. Climatización

#### A. PUNTO DE CONFORT

El confort o bienestar climático depende de factores ambientales y personales. La norma ISO 7730 lo define como “aquella condición de la mente humana que expresa satisfacción con el ambiente térmico”.

Debe haber un equilibrio entre el calor producido y el perdido por el cuerpo, con lo cual depende de muchos factores: temperatura, presión, viento, humedad, actividad y vestuario.

Los factores ambientales son el caudal de aire (viento), la temperatura y la humedad del aire y la radiación (solar o de objetos calientes próximos). Las combinaciones de los parámetros ambientales anteriores que no generen estrés en el cuerpo humano se conocen como confort climático.

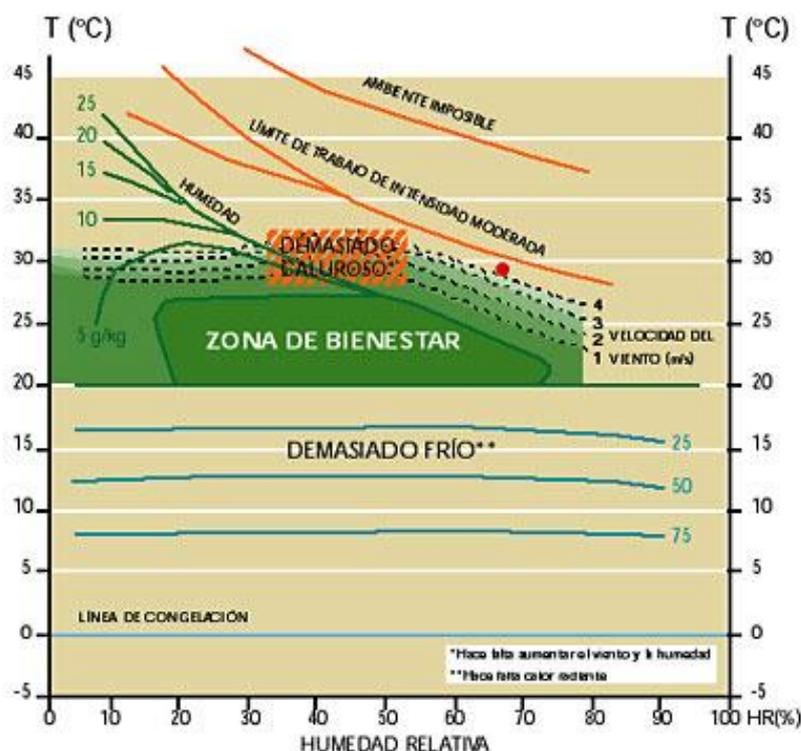


Figura 22. Zona de confort o bienestar (modelo de Olgay).

En tiempo caluroso, el cuerpo humano debe eliminar calor para mantener su equilibrio térmico. La evaporación de humedad desde la piel es un factor importante en este equilibrio y el efecto de refrigeración que se produce depende de la humedad del aire (cuanto más alta, la refrigeración disminuye) y del vestido, que si es grueso va a dificultar el flujo de aire de evaporación.

En el caso contrario, en condiciones de frío, el cuerpo debe reducir la pérdida de calor, protegiéndose del viento o aumentando la producción de calor, por ejemplo, mediante ejercicio físico.

El objetivo de una buena climatización es conseguir unas condiciones ambientales saludables y adecuadas que además no conlleven un gasto energético innecesario.

Las condiciones internas de confort que se adoptaremos serán las recomendadas por el RITE.

PARAMETROS	LIMITE
Temperatura operativa en verano (°C)	$23 \leq T \leq 25$
Humedad relativa en verano (%)	$45 \leq T \leq 60$
Temperatura operativa en invierno (°C)	$21 \leq T \leq 23$
Humedad relativa en invierno (%)	$40 \leq T \leq 50$
Velocidad admisible con difusión por mezcla (m/s)	$V \leq 0.14$

**Tabla 2. Exigencia de calidad ambiental. RITE IT 1.1.4.1**

## **B. NECESIDADES DE REFRIGERACION**

Para la estimación de las cargas de refrigeración necesarias en nuestra vivienda hemos utilizado una hoja de cálculo que se basa en que la ganancia de calor de una habitación o edificio depende de los siguientes parámetros:

- Tamaño del área a enfriar.
- Tamaño y posición de las ventanas, y si están a la sombra.
- Número de ocupantes.
- Calor generado por el equipo y la maquinaria.
- Calor generado por la iluminación.

Se calcula la carga de refrigeración de cada componente en las habitaciones, multiplicándolo por un factor determinado según la temperatura exterior máxima de la zona, y se suman todas para obtener la carga total expresada en kW.

La hoja de cálculo que hemos utilizado esta pre-dimensionada con factores adecuados a diferentes temperaturas máximas exteriores comprendidas entre 32 y 43°C. Debemos elegir la columna de factores que más se adapta a la temperatura exterior en nuestra vivienda.

Para ello hemos consultado en la página web de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) los datos de la estación meteorológica situada en el aeropuerto de Manises, que nos mostrara una visión bastante segura de la caracterización climatológica de nuestra zona, ya que se encuentra a unos 3 km de la vivienda.

Consultando las temperaturas máximas absolutas en los meses de Julio y Agosto registradas en la zona durante los últimos 25 años, tomamos como referencia la media, que se corresponde con 34°C, una temperatura que se supera a menudo en el mes de Julio.

Elegimos entonces la columna de factores correspondientes a la temperatura de 35°C, que es la más próxima a nuestra media (resaltada en verde).

En la siguiente tabla se observamos un ejemplo de cómo se realiza el cálculo de dimensionado de cargas térmicas de refrigeración necesaria en el salón. Los cálculos del resto de habitaciones de la vivienda pueden consultarse en el anexo 2.

Hay que decir que la tabla está realizada tomando como base unos valores medios adecuados a la mayoría de viviendas convencionales (en cuanto a construcción y tipo

de materiales empleados), por lo que puede ser que no sean completamente exactos, aunque tratándose de instalaciones de pequeñas dimensiones no se produce una excesiva diferencia con los resultados obtenidos realizando cálculos más complejos.

SALÓN - COMEDOR		Cantidad	Factor					Frigorías/h	W	
			Grados de diseño exterior							
			Zona norte		Centro	Zona sur				
			32	35	38	41	43			
1- Suelo		36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549	
2- Volumen de la habitación		96,70 m <sup>3</sup>	5					484	559	
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)	S ó E	3,78 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	510	590	
	SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
	O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
	NO ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		1,80 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	99	115	
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)		9,96 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	448	519	
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores		11,96 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	443	512	
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionamiento)		9,46 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	161	186	
8- Tejado o techo (Usar solo uno )	techo con espacio sin acondicionar aire	36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549	
	techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
		50mm(2") ó mas de aislamiento	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
	Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
9- Personas		4,00	120					480	555	
10- Luces y equipos eléctricos en uso	Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86					69	80	
	Fluorescentes	80,00 w	1,0625					85	98	
Carga de refrigeración total							<b>3726</b>	<b>4311</b>	<b>w</b>	

**Tabla 3. Cálculo de cargas de refrigeración en salón-comedor.**

Únicamente debemos introducir en la columna "Cantidad" los valores que se correspondan a la habitación de nuestra vivienda que queremos dimensionar.

La tabla realiza la multiplicación por los factores correspondientes a la temperatura exterior dado como resultado las cargas térmicas producidas por cada apartado.

La suma de los diferentes apartados dará como resultado la carga total de refrigeración necesaria en esa estancia.

La suma de los resultados obtenidos en las diferentes estancias nos da como resultado la carga total de refrigeración necesaria en la vivienda.

Los resultados se expresan en frigorías/hora y W. (1 frigoría/h = 1,157 W)

A continuación se muestra un resumen de las cargas de refrigeración resultantes del cálculo de toda la vivienda.

Habitación	Frigorías	Wattios
Salón - comedor	3726	4311
Cocina	2405	2783
Dormitorio ppal.	2216	2564
Dormitorio 1	1502	1735
Dormitorio 2	1381	1597
<b>TOTAL</b>	<b>11.230</b>	<b>12.990</b>

*Tabla 4. Resumen de cargas de refrigeración total de la vivienda.*

Obtenemos como resultado que la potencia necesaria para refrigerar la vivienda debe ser de **13 kW**.

### **C. NECESIDADES DE CALEFACCION**

Para determinar las cargas térmicas de calefacción hemos utilizado una hoja de cálculo similar a la utilizada en para obtener las cargas de refrigeración.

Se tienen en cuenta los parámetros relativos a superficie, volumen, ventanas y paredes expuestas, personas y elementos eléctricos que pueden afectar al ambiente.

El método de actuación es idéntico al del cálculo de refrigeración.

Las diferentes columnas de factores se corresponden con los determinados para diferente zonas climáticas con temperaturas mínimas comprendidas entre los -6 y 6°C.

Consultamos nuevamente los datos históricos de temperaturas de los últimos 25 años tomados por la estación meteorológica del aeropuerto de Manises y obtenemos como resultado que la media de las temperaturas mínimas absolutas en los meses de invierno es inferior a 1°C.

Tomamos por lo tanto como buenos para nuestro cálculo los factores de la columna correspondiente a 0°C (resaltada en verde).

A continuación podemos ver cómo se realiza el cálculo de la carga de calefacción necesaria en el salón.

Salón - Comedor		Cantidad	Factor					Kcal/h	W	
			Grados de diseño exterior							
			Zona norte		Centro	Zona sur				
			-6	-3	0	3	6			
1- Suelo		36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549	
2- Volumen de la habitación		96,70 m <sup>3</sup>	5					484	559	
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)	NO ó E	3,78 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	510	590	
	NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
	N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
	O ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		1,80 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	99	115	
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		9,96 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	448	519	
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		11,96 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	443	512	
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		9,46 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	161	186	
8- Tejado o techo (usar solo uno)	techo con espacio sin acondicionar arriba	36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549	
	techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
		50mm(2")ó mas de aslame	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
	Tejado sin aislamiento		m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0
GANANCIAS TERMICAS									0	
9- Personas		4,00	120					-480	-555	
10- Luces y equipos eléctricos en uso	Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86					-69	-80	
	Fluorescentes	80 w	1,0625					-85	-98	
Carga de calefaccion total							<b>2459</b>	<b>2845 W</b>		

**Tabla 5. Calculo de cargas de calefacción en salón-comedor.**

En este caso se puede observar como los puntos 9 y 10 producen resultados que se restan a los anteriores. Esto se debe a que tanto las personas, como las luces y otros equipos eléctricos aportan calor al ambiente, es decir, están produciendo unas

ganancias térmicas, por lo que se tienen en cuenta con símbolo negativo respecto a las anteriores.

A continuación se muestra un resumen de las cargas de calefacción resultantes del cálculo de toda la vivienda. El cálculo del resto de habitaciones puede consultarse en el anexo 2 de este proyecto.

Habitación	Kcalorias/h	Wattios
Salón - comedor	2459	2845
Cocina	1867	2161
Dormitorio ppal.	1650	1909
Dormitorio 1	936	1083
Dormitorio 2	815	943
<b>TOTAL</b>	<b>7.727</b>	<b>8.940</b>

*Tabla 6. Cálculo de cargas de calefacción en salón-comedor.*

Después de realizar los cálculos para todas las estancias de la vivienda hemos obtenido como resultado que es necesaria una potencia de calefacción de **9 kW**

#### **4.2.2. Electricidad**

No vamos a calcular la demanda de energía eléctrica necesaria diariamente en la vivienda, ya que la misión de la instalación solar fotovoltaica no será de abastecer a la vivienda, sino de producir electricidad suficiente para al menos equiparar el gasto eléctrico, es decir, producir la misma cantidad o más de energía que la necesaria para el gasto habitual de la vivienda.

De esta manera conseguiremos por una parte devolver a la red al menos la misma cantidad de electricidad que hemos consumido y que se ha creado con energías renovables de forma limpia y sin perjudicar al medio ambiente, y por otra parte obtener un beneficio económico.

Asique nuestro propósito será diseñar una instalación solar fotovoltaica ocupando como máximo la superficie total de la cubierta de la vivienda.

Deberemos tener en cuenta que actualmente hay instalado, y en funcionamiento, un captador solar térmico en una de las cubiertas, y que suministra agua caliente a la vivienda.

Por lo tanto habrá que evitar causarle sombras o cualquier otra modificación que altere su funcionamiento una vez instalada nuestra central fotovoltaica.

# 5 Propuesta de instalación geotérmica y solar fotovoltaica

## 5.1. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

Una vez hemos hecho el cálculo de la demanda energética de la vivienda necesaria para climatización tenemos que dimensionar y elegir los elementos que formaran la instalación geotérmica.

A continuación vamos a realizar el estudio y dimensionamiento de los diferentes elementos que formaran la instalación de climatización.

### 5.1.1. Sistema de captación

La función de un intercambiador de calor subterráneo es servir de vía de conexión entre el terreno, que es la fuente o el pozo de calor (en modo calefacción o en modo refrigeración), y el intercambio de calor con el refrigerante de la misma.

En nuestro caso hemos elegido la disposición de los captadores en lazo cerrado vertical, ya que realizado el cálculo para su disposición de forma horizontal, contando con la disposición de las trincheras excavadas y la separación entre estas, nos da como resultado que necesitaríamos una superficie de 59 m<sup>2</sup> por kW de calefacción a obtener. Con lo cual para la necesidad de calefacción de nuestra vivienda, 9 kW, sería necesaria una superficie de terreno de:

$$9 \text{ kW} \times 59 \text{ m}^2/\text{kW} = 531 \text{ m}^2$$

La superficie de terreno que disponemos para utilizar en nuestra parcela, además de la vivienda y las zonas de acceso, es de 220 m<sup>2</sup> que se utiliza como jardín (figura 5). Por tanto nos vemos obligados a la utilización del sistema vertical mediante la perforación de pozos.

Este sistema tiene una clara desventaja, y es el coste de las perforaciones de los pozos necesarios, que suelen ser entre 50 y 100 m, si los comparamos con la realización de trincheras a 2 metros de profundidad necesarias para el sistema horizontal.

Sin embargo tiene también algunas ventajas respecto a los sistemas horizontales. La principal es que necesita menos extensión de terreno, también requiere una longitud menor de tubería y no le afectan las oscilaciones estacionales de temperatura del suelo.

La longitud de los captadores, y por tanto de la perforación vertical a realizar, depende de dos factores, de la potencia necesaria de climatización y la conductividad térmica del terreno.

Nuestro sistema de captación geotérmica se dimensiona para garantizar el 100% de la demanda de calefacción y refrigeración de la vivienda.

Las potencias demandadas para el captador geotérmico son de 9 kW de calefacción y 13 kW de refrigeración.

Para el cálculo de la longitud del intercambiador, realizaremos los cálculos necesarios utilizando la potencia de calefacción, es decir, 9kW.

Para determinar el tipo de terreno en la zona de nuestra vivienda consultamos el estudio geológico realizado por la promotora antes del comienzo del proyecto.

*Se ha realizado un informe geotécnico por la empresa GIA S.L. con fecha de Septiembre de 2004.*

*“El área en estudio geológicamente se localiza en la Hoja a escala 1:50.000 del IGME nº695 Llíria (Valencia). La zona en estudio se emplaza en la ribera del río Turia, sobre una zona de depósitos cuaternarios de origen aluvial ( $Q_2T_4$ ) procedente del río Turia y constituida por arenas y gravas con carácter compacto.”*

El informe establece que el terreno está formado por gravas y arenas. Con este dato consultamos en la tabla 4 las propiedades de este tipo de suelo.

Propiedades de varios tipos de suelo				
Tipo de suelo	Conductividad W/m °C	Difusibilidad m <sup>2</sup> /s	Densidad Kg/m <sup>3</sup>	Capacidad calorífica kJ/kg °C
Flojo húmedo (arena suelta, lodo)	0,9	0,000000516	1600	1,05
Flojo, seco (arena suelta, lodo)	0,3	0,000000284	1400	0,84
Denso, húmedo (Caliza, arena, grava compactada, barro)	1,3	0,000000645	2100	0,96
Denso, seco (Caliza, arena, grava compactada, barro)	0,9	0,000000516	2000	0,84
Roca ligera (caliza)	2,4	0,00000103	2800	0,84
Roca pesada (granito)	3,5	0,00000129	3200	0,84
Escarcha ligera	1.4	0,0000011	1580	0,76
Escarcha densa	2	0,00000137	2070	0,69

**Tabla 7. Propiedades de varios tipos de suelos (fuente: RETScreen International).**

Así obtenemos el dato de la conductividad térmica de nuestro terreno: **1,3 W/m °C**.

La norma VDI 4640 indica la relación entre la conductividad térmica del terreno y la extracción de calor que puede esperarse de ese terreno.

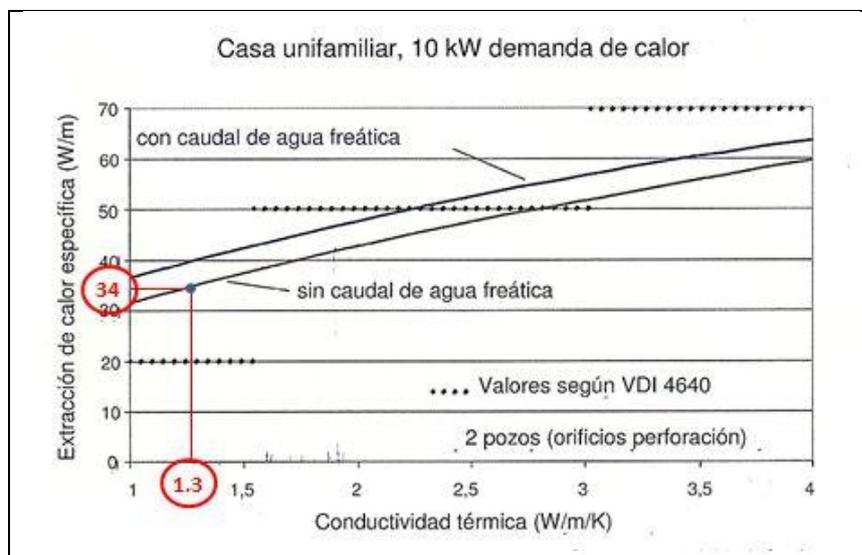


Figura 23. Propiedades de varios tipos de suelos (fuente: RETscreen International).

La figura 23 nos muestra una gráfica realizada para una vivienda con una demanda de calefacción de 10 kW.

Si hacemos una comparación con la vivienda de nuestro estudio e introducimos en la gráfica la conductividad térmica de nuestro terreno, 1,3 W/m °C, obtenemos como resultado que se pueden extraer **34 w/metro**.

Considerando la proporción correspondiente entre los 10 kW (10000 W) de la figura y los 9 kW (9000 W) de demanda de nuestra vivienda resulta:

$$\frac{9000}{34} \times \frac{9000}{1000} = 238,20 \text{ m} \rightarrow \text{Tomaremos el valor de } \mathbf{240 \text{ m}}$$

Esta es la profundidad necesaria del pozo y por tanto la longitud de los intercambiadores.

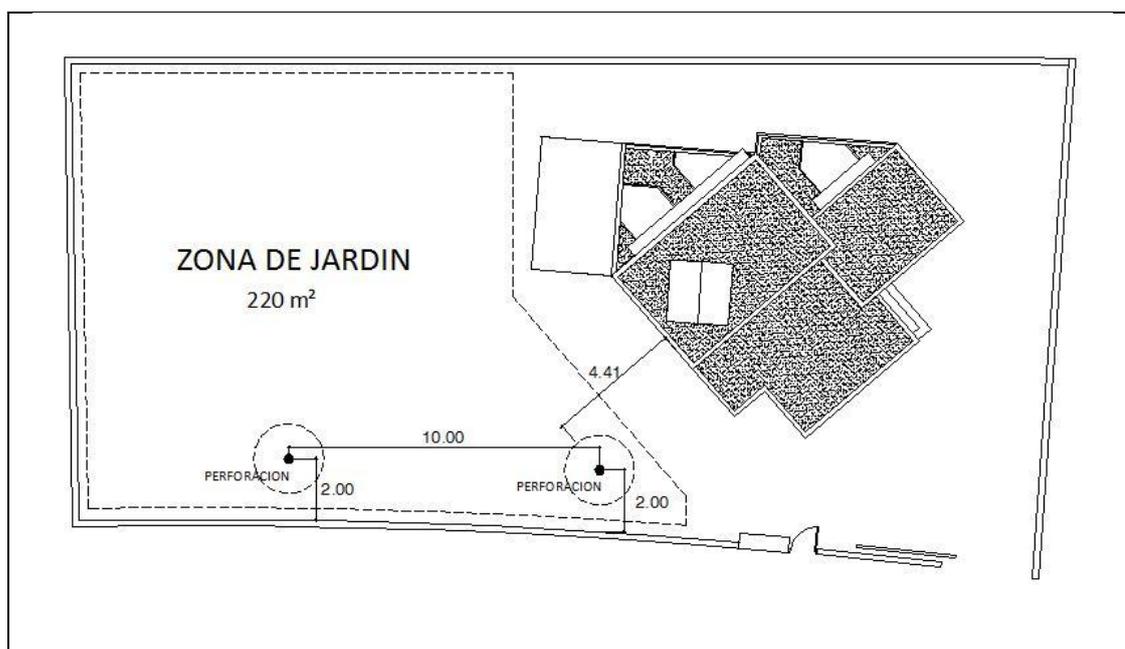
Para reducir la distancia podemos introducir 2 tubos en U en el pozo con lo que aumentamos el doble la longitud de captación y por tanto podemos reducir la profundidad del pozo a la mitad: **120 m**.

Sin embargo, sigue siendo una profundidad excesiva, y que puede aumentar el coste de la perforación, y por tanto de la instalación.

Por ello buscamos otra solución que nos disminuya la profundidad de perforación y por tanto nos mantenga estable nuestro presupuesto.

La solución consiste en realizar dos pozos en lugar de uno. Siguiendo el mismo esquema de diseño, introduciendo en ellos dos tubos en U. La profundidad de estos se ve reducida **60 m**.

Los pozos tendrán un diámetro de entre 150 200 mm. Antes de su realización debemos asegurarnos de que en el subsuelo no existan tuberías de gas, agua, o cualquier tipo de conducción.



*Figura 24. Situación de las perforaciones de los pozos.*

El lugar de las perforaciones debe quedar claramente reflejado en un plano una vez termine la instalación por si en un futuro fuera necesario realizar algún trabajo de reparación o mantenimiento, en los propios captadores o en los alrededores, poder localizar su posición fácilmente.

Se realizaran dos perforaciones de 60 metros de profundidad, con un diámetro mínimo de 150 mm para facilitar la correcta introducción de las sondas.

La separación entre los pozos recomendada es de 10 metros, para evitar que entren en contacto zonas de terreno afectadas de uno y otro captador. La separación mínima respecto al edificio será de 2 metros

Se colocaran en totales 240 m lineales de sonda repartidos en dos sondas por cada pozo de 60 m de profundidad. Las sondas geotérmicas serán de PE del tipo doble U con un diámetro de 25 mm (DN 25).

El fluido utilizado en el circuito geotérmico será agua con solución anticongelante en proporción del 10% (etilenglicol o propilenglicol) para evitar la congelación.

### 5.1.2. Bomba de calor geotérmica

A partir de los datos de la demanda energética necesaria para la correcta climatización de la vivienda se ha buscado un aparato que cumpla con los requisitos de nuestra instalación.

- Potencia mínima de 9 kW calefacción y 13 kW refrigeración.
- Tipo suelo – aire. Toma el calor del suelo y la transmite a la vivienda mediante aire a través de conductos.

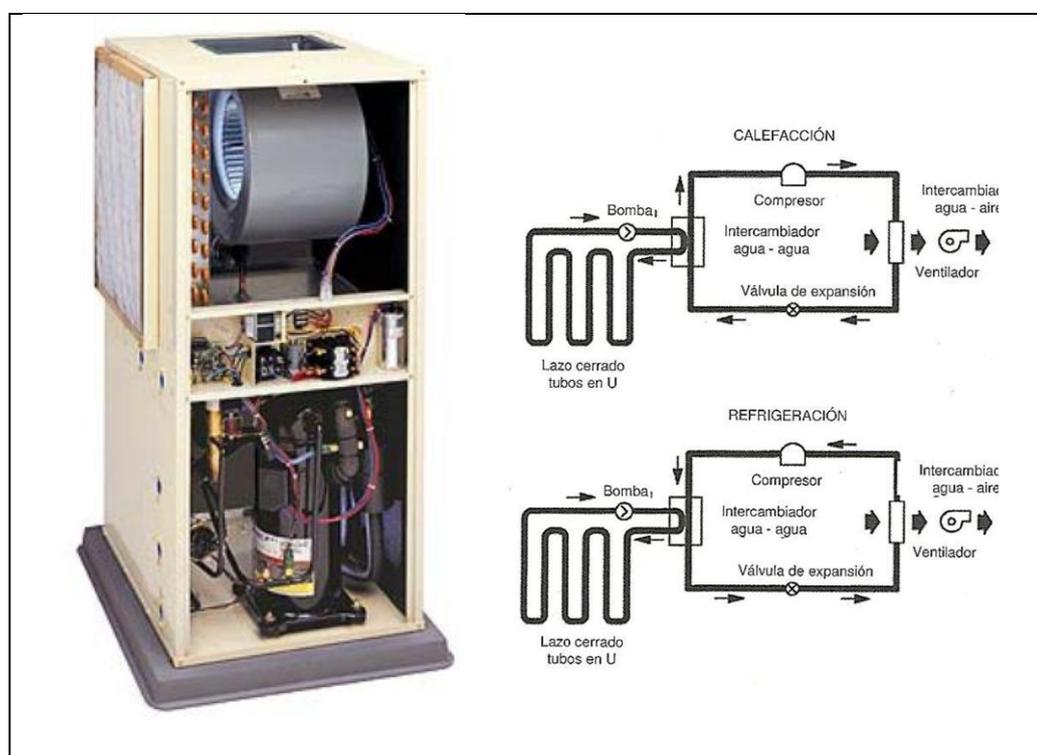


Figura 25. Bomba de calor geotérmica ECONAR modelo EV 470/471 .

Hemos seleccionado una bomba de calor geotérmica que se adecua a nuestra instalación de la marca ECONAR, concretamente el modelo EV 470/471. A continuación pasamos a enumerar sus características técnicas.

- Caudal de agua del lazo cerrado vertical: 45,5 l/m<sup>2</sup> (12 GPM).
- Caudal de aire a la vivienda: 2.633,5 m<sup>3</sup>/h (1.550 cfm).
- Modo calefacción: 12 kW (41.000 BTU/h)
- $COP_{\text{(coef. eficiencia energética)}} = \frac{\text{capacidad calorífica}}{\text{potencia compresor+bomba+vaentilador}} = \frac{12 \text{ kW}}{3,3 \text{ kW}} = 3,6$
- Modo refrigeración: 14 kW (48.000 BTU/h).
- $COP_{\text{(refrigeración)}} = \frac{\text{capacidad frigorífica}}{\text{potencia compresor+bomba+vaentilador}} = \frac{14 \text{ kW}}{3,3 \text{ kW}} = 4,2$

La bomba de calor estará situada en el sótano de la vivienda según se indica en la figura siguiente.

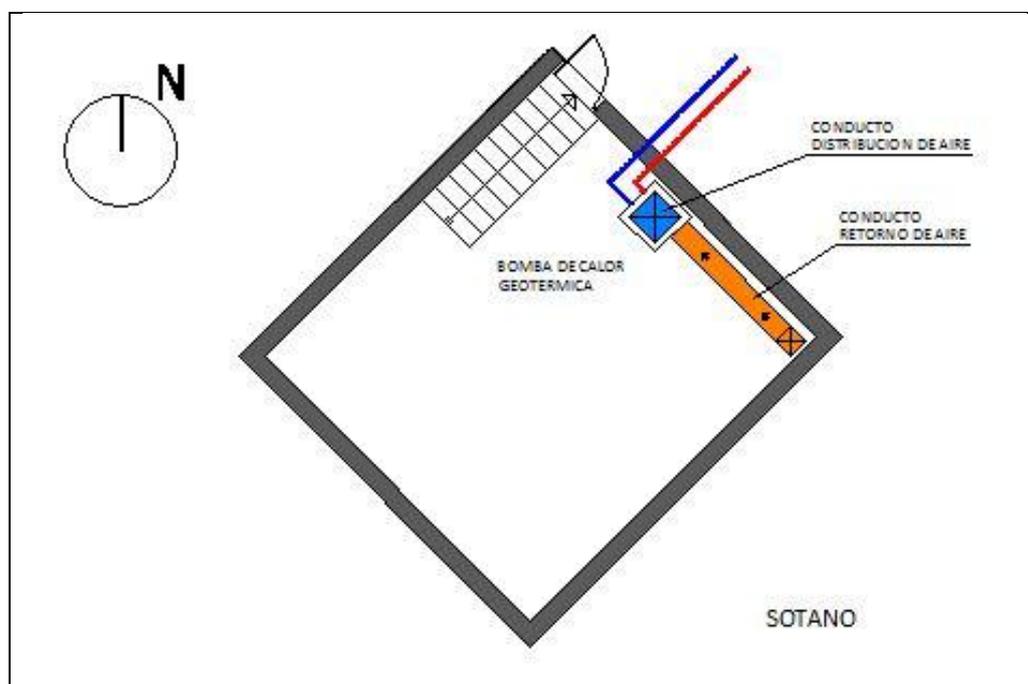


Figura 26. Instalación de bomba de calor en sótano.

Sera necesario la instalación de varias rejillas para que el local se encuentre permanentemente ventilado.

### 5.1.3. Sistema de distribución

La energía calorífica o frigorífica se distribuirá por la vivienda en forma de aire. La bomba de calor, desde el sótano, impulsara aire frio o caliente (dependiendo de la época del año) verticalmente y a través de un sistema de conductos se distribuirá por toda la vivienda.

Los conductos estarán formados a partir de paneles de lana de vidrio revestidos de aluminio tanto interior como exteriormente.

El sistema de conductos de distribución se realizara de la forma y recorrido que aparecen en las siguientes figuras.

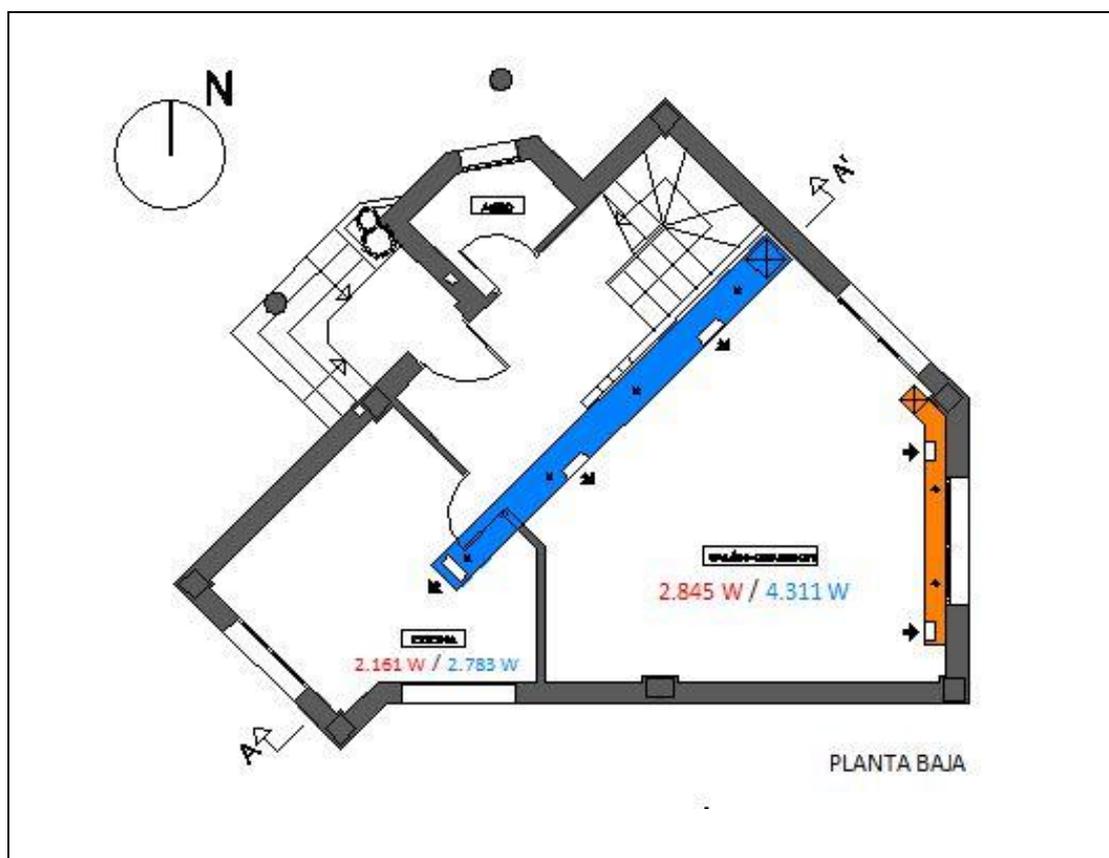


Figura 27. Distribucion de conductos planta baja.

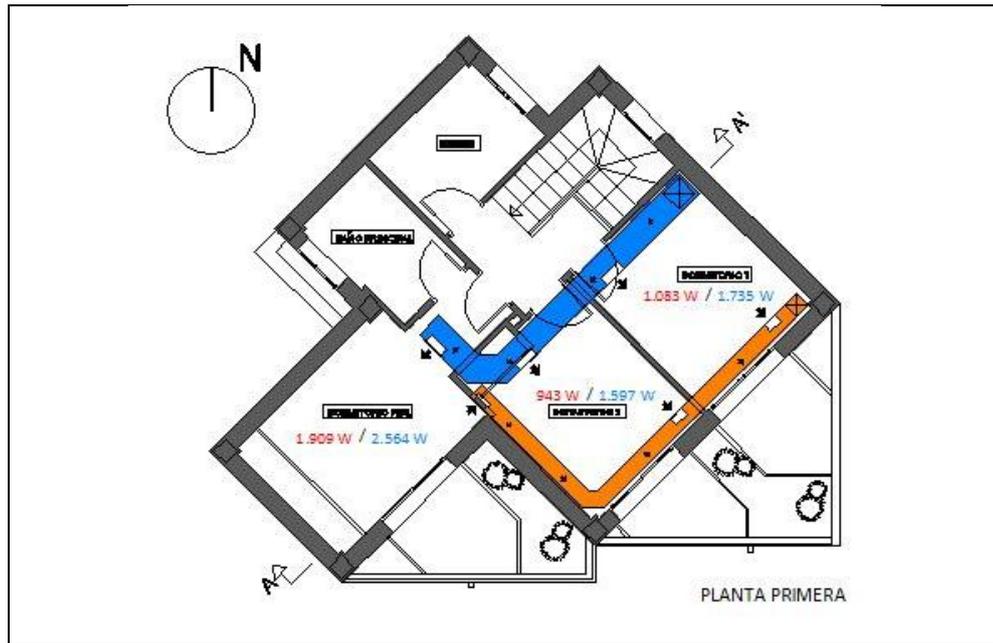


Figura 28. Distribución de conductos planta primera.

La distribución vertical la observamos en la siguiente figura.

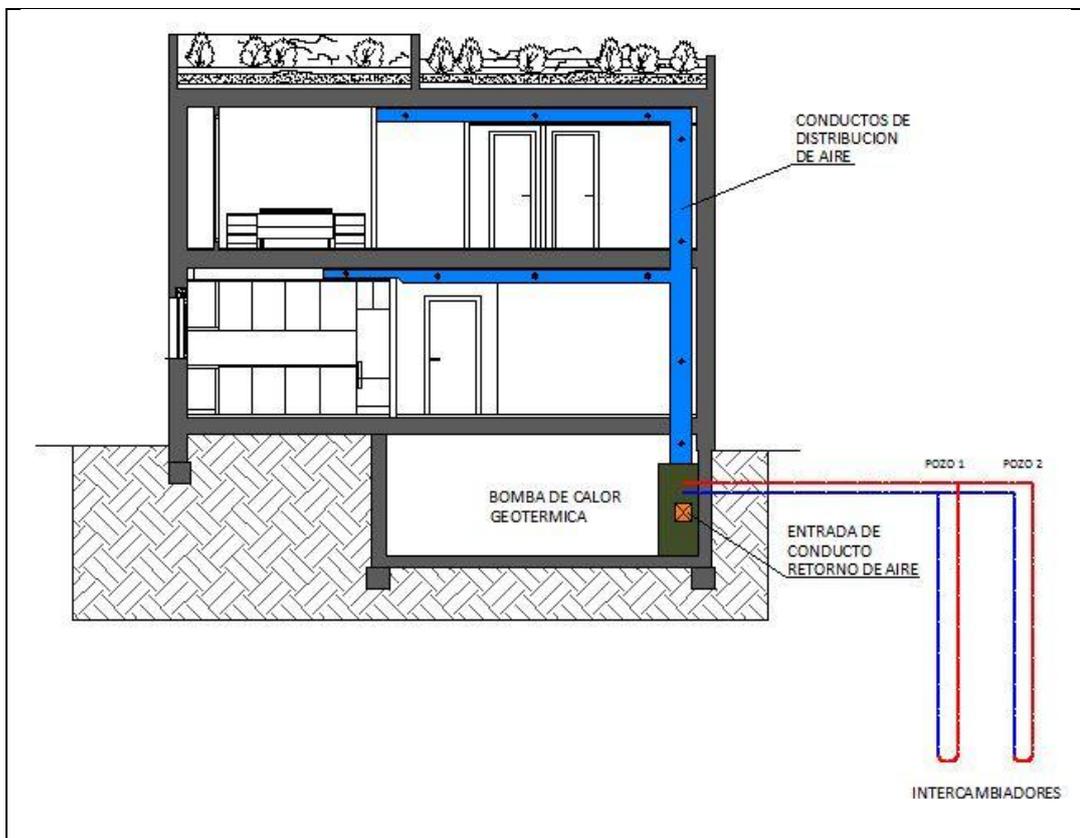


Figura 29. Sección de instalación climatización geotérmica.

## 5.2. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 5.2.1. Dimensionado

Para el dimensionado de la instalación fotovoltaica hemos utilizado una hoja de cálculo realizada por un ingeniero superior industrial, la cual a partir de la introducción de unos datos previos realiza los cálculos pertinentes y nos ofrece los resultados con los datos significativos de la instalación proyectada en lo referente a la producción energética y la prima económica por producción de energía eléctrica en cada uno de los meses del año.

La hoja de cálculo se ha realizado siguiendo todas las recomendaciones del Pliego de condiciones técnicas de instalaciones conectadas a Red editado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (AIDAE), así como la normativa de obligado cumplimiento del Documento Básico ahorro de energía HE del Código Técnico.

La primera comprobación a realizar sería si nuestra instalación debe cumplir con lo establecido en la HE-5 Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica del Código Técnico de la Edificación (CTE), que requiere unas exigencias mínimas en cuanto a potencia de la instalación y potencia del inversor eléctrico.

Realizamos la comprobación consultando en la tabla 1.1 de la HE-5 los tipos de edificación que están en el ámbito de aplicación.

<b>Tabla 1.1 Ámbito de aplicación</b>	
<b>Tipo de uso</b>	<b>Límite de aplicación</b>
Hipermercado	5.000 m <sup>2</sup> construidos
Multitienda y centros de ocio	3.000 m <sup>2</sup> construidos
Nave de almacenamiento	10.000 m <sup>2</sup> construidos
Administrativos	4.000 m <sup>2</sup> construidos
Hoteles y hostales	100 plazas
Hospitales y clínicas	100 camas
Pabellones de recintos feriales	10.000 m <sup>2</sup> construidos

**Tabla 8. Ámbito de aplicación de la HE-5.**

Vemos que nuestro edificio siendo una vivienda unifamiliar no entra dentro del ámbito de aplicación de la norma. Con lo cual no tenemos que cumplir exigencias mínimas.

A continuación vamos a explicar el proceso de introducción de datos requeridos por la aplicación y los resultados obtenidos.

### A. Obtención de datos geográficos y climatológicos

Seleccionamos la ubicación de instalación introduciendo el nombre de la provincia y nos aparecen los datos de latitud, radiación, temperatura, etc.

<b>Provincia:</b>	<b>Valencia</b>
Latitud de cálculo:	39,48
Latitud [°/min.]:	39,29
Altitud [m]:	10,00
Humedad relativa media [%]:	68,00
Velocidad media del viento [Km/h]:	10,00
Temperatura máxima en verano [°C]:	32,00
Temperatura mínima en invierno [°C]:	0,00
Variación diurna:	11,40
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	510
Grados-día. Temperatura base 15/15 (UNE 24046):	516

**Tabla 9. Cálculo de radiación solar.**

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
Tª. media ambiente [°C]:	10,30	11,00	13,10	14,80	17,80	21,90	23,90	24,50	22,40	18,30	14,40	11,10	17,0
Rad. horiz. [kJ/m <sup>2</sup> /día]:	9.338	10.802	13.856	18.464	21.686	21.854	23.068	24.032	16.032	11.222	7.536	6.614	15.375
Rad. horiz. [Kwh/m <sup>2</sup> /día]:	2,59	3,00	3,85	5,13	6,02	6,07	6,41	6,68	4,45	3,12	2,09	1,84	4,27

**Tabla 10. Cálculo de radiación solar.**

### B. Cálculo de la radiación prevista en la ubicación seleccionada

Seleccionamos el tipo de instalación conforme a lo indicado en la tabla 2.2 del DB- HE5 del CTE.

Caso	Orientación e inclinación	Sombras	Total
General	10 %	10 %	15 %
Superposición	20 %	15 %	30 %
Integración arquitectónica	40 %	20 %	50 %

**Tabla 11. Tabla pérdidas límite HE-5.**

En la tabla 2.2 se consideran tres casos: general, superposición de módulos e integración arquitectónica.

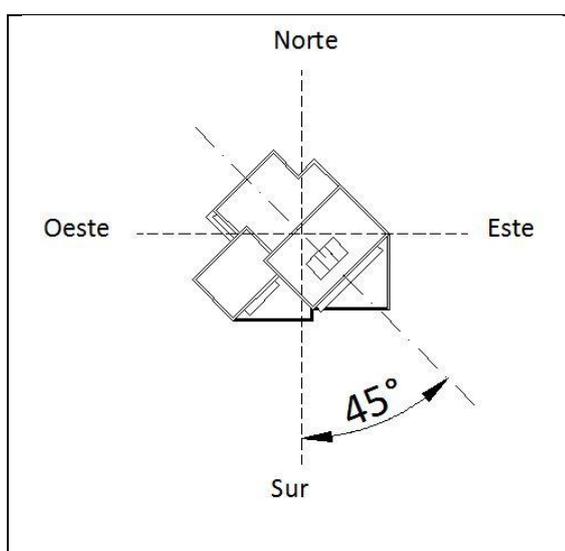
Se considera que existe integración arquitectónica cuando los módulos cumplen una doble función energética y arquitectónica y además sustituyen elementos constructivos convencionales o son elementos constituyentes de la composición arquitectónica.

Se considera que existe superposición arquitectónica cuando la colocación de los captadores se realiza paralela a la envolvente del edificio, no aceptándose en este concepto la disposición horizontal con el fin de favorecer la autolimpieza de los módulos.

En nuestro caso elegimos el caso general que nos limita tanto las pérdidas por orientación e inclinación como las pérdidas por sombra a un 10 %, y la combinación entre ambas no mayor del 15 %.

Colocaremos nuestra instalación siguiendo la dirección de los ejes principales de la vivienda. La inclinación de los módulos será de  $30^\circ$ , un valor muy aproximado al que nos recomienda la aplicación de cálculo.

Gráficamente podemos ver que el ángulo azimut de nuestra instalación es de  $-45^\circ$ . (Azimut es el ángulo de diferencia que tiene el eje principal de la instalación respecto al eje Sur).



**Figura 30. Determinación de ángulo azimut**

Comprobaremos ahora si las pérdidas por orientación e inclinación están dentro de los límites que nos indica el CTE (10 %). Para ello utilizaremos las dos formas que nos muestra el CTE, gráfica y analítica.

- **Comprobación gráfica**

Comprobamos el rango de inclinación para la latitud  $C=41^\circ$  (que es el de la figura de referencia en el CTE- DBE HE5) y unas pérdidas máximas del 10% para nuestra orientación  $\alpha = -45^\circ$ .

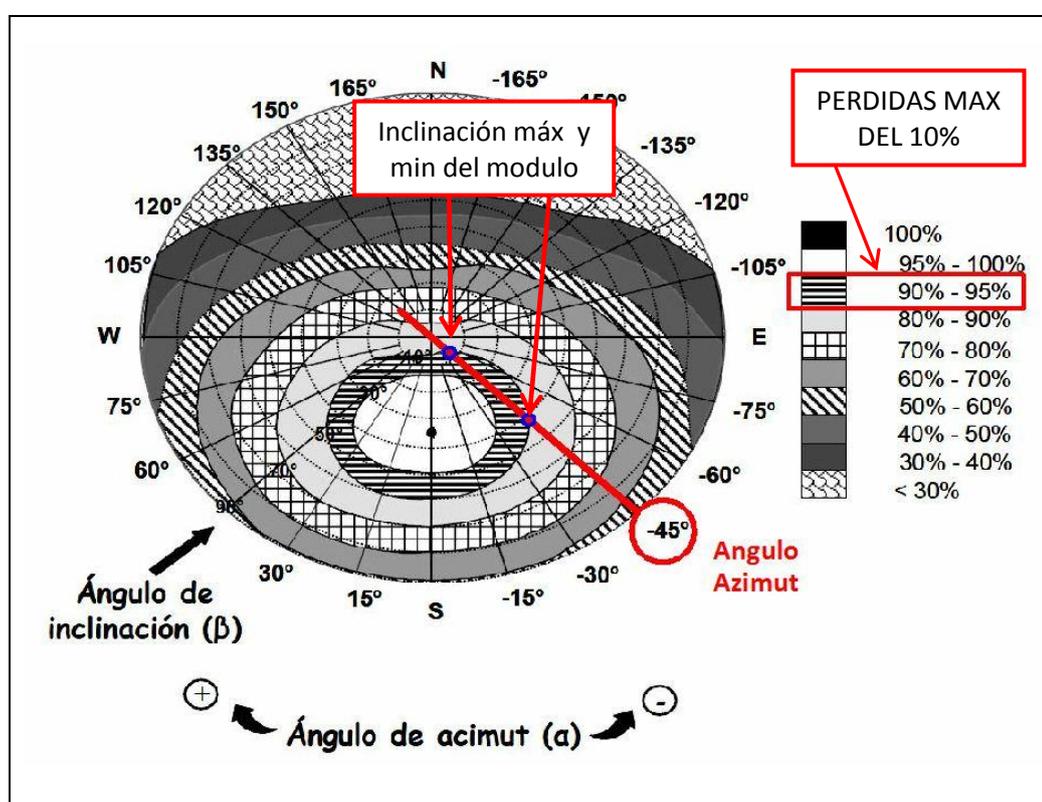


Figura 31. Cálculo gráfico de pérdidas por inclinación y orientación.

Para ello trazamos una línea por el ángulo acimut  $-45^\circ$  hasta cortar en dos puntos la superficie con la trama correspondiente a pérdidas máximas del 10%. Esos dos puntos de corte nos dan el rango de ángulos de inclinación de los módulos que nos permiten no superar esas pérdidas. En nuestro caso los resultados obtenidos son:

$$\beta_{\max} = 65^\circ \text{ y } \beta_{\min} = 7^\circ$$

Estos serían valores referenciados a la latitud de la figura del CTE, por lo tanto tenemos que realizar la corrección de los datos utilizando las siguientes formulas:

$$\text{Inclinación máxima} = \text{inclinación} - (41^\circ - \text{latitud})$$

$$\text{Inclinación mínima} = \text{inclinación} - (41^\circ - \text{latitud}) ; \text{siendo } 5^\circ \text{ su valor mínimo}$$

Y Obtenemos los siguientes resultados:

$$\beta_{\max} = 42^\circ - (41^\circ - 39,40^\circ) = 40,40^\circ$$

$$\beta_{\min} = 7^\circ - (41^\circ - 39,40^\circ) = 5,40^\circ$$

Luego una inclinación de  $30^\circ$  sería válida y no tendría unas pérdidas superiores al 10%.

- **Comprobación analítica**

En casos cerca del límite y como instrumento de verificación, se utilizará la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [ 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 ]$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 \cdot [ 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (30 - 39,40 + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} (-45)^2 ] = \mathbf{7,45 \% < 10 \%}$$

$$\Phi = \text{Latitud de nuestra instalación} = 39,40^\circ$$

$$B = \text{Inclinación de nuestra instalación} = 30^\circ$$

$$\alpha = \text{Azimut} = -45^\circ$$

Obtenemos como resultado para una inclinación de  $30^\circ$  de los módulos fotovoltaicos que las pérdidas son menores del 10 %.

El siguiente paso sería calcular el porcentaje de sombras PS mediante el método previsto para ello en apartado 3.4 de la HE5 del CTE.

Sin embargo no realizaremos este cálculo, ya que sirve para obtener el porcentaje de sombras que ocasionarían obstáculos cercanos, como podrían ser edificios en los alrededores. Nuestro edificio es una vivienda unifamiliar aislada de dos alturas que no tiene alrededor ningún obstáculo que la supere en altura. Por lo tanto determinaremos que el porcentaje de sombras será 0,00 %.

Una vez hechas estas comprobaciones volvemos de nuevo a la aplicación informática y continuamos introduciendo los datos solicitados.

Introducimos ahora el ángulo de azimut y de inclinación de los módulos solares, y el porcentaje de sombras PS que hemos obtenido anteriormente.

Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Inclinación óptima en función del periodo de diseño	$b_{opt}$	Grados	29,48
Ángulo de Azimut (ángulo respecto al eje Sur)	$a_r$	Grados	-45
Ángulo de inclinación respecto a la horizontal del módulo solar (0 a 90°)	$b_r$	Grados	30
Factor de Irradiación	<b>FI</b>	-	0,929
Porcentaje de radiación incidente en el plano, ya orientado e inclinado	-	%	92,91
Porcentaje de pérdidas de radiación por orientación e inclinación	<b>POI</b>	%	7,09
Porcentaje de sombras según metodología de cálculo	<b>PS</b>	%	0,00
Factor de sombras	<b>FS</b>	-	1,000
Total pérdidas orientación e inclinación + pérdidas por sombras	<b>POI+PS</b>	%	7,09

**Tabla 12. Cálculo de radiación solar.**

Y nos aparecen los valores relativos al factor de irradiación FI, factor de sombras FS, pérdidas por orientación e inclinación POI (calculado anteriormente), así como la combinación de estas últimas y las pérdidas por sombras PS (POI + PS). También aparece el ángulo de inclinación óptimo en función de la latitud de la ubicación de la instalación.

### C. Datos relativos al sistema

En este apartado seleccionaremos el módulo solar de una lista que trae la aplicación o sino podríamos introducir otros modelos.

Seleccionamos uno de los que están establecidos, modelo NT 6000 de la marca SUNWAYS, y nos aparecen todas sus características técnicas.

Modulo solar	CONERGY C 175M		
Potencia nominal	$P_{MAX}$	Wp	175
Tolerancia	Tol	%	5
Tensión nominal en el punto máxima potencia	$V_{MPP}$	V	35,4
Tensión máxima en circuito abierto	$V_{OC}$	V	44,4
Corriente nominal en el punto de máxima potencia	$I_{MPP}$	A	5,400
Corriente de cortocircuito	$I_{SC}$	A	5,4
Tonc	TONC	°C	45

**Tabla 13. Características técnicas del módulo solar.**

El siguiente elemento a seleccionar sería el inversor de corriente, y como hemos hecho con los módulos, seleccionamos uno ya preestablecido.

INVERSOR	SUNWAYS NT 6000		
Potencia nominal	$P_{NOM}$	W	4.600
Potencia máxima CC en campo solar	$P_{CC MAX}$	W	6.250
Potencia mínima CC en campo solar	$P_{CC MIN}$	W	2.300
Tensión máxima CC en operación en el campo solar	$V_{CC MAX}$	V	650
Tensión mínima CC en operación en el campo solar	$V_{CC MIN}$	V	350
Tensión de conexión CC en el campo solar	$V_{CON CC}$	V	410
Tensión de desconexión CC en el campo solar	$V_{DESCON CC}$	V	340
Tensión máxima en circuito abierto CC en el campo solar	$V_{OC MAX}$	V	750
Intensidad máxima CC en operación en el campo solar	$I_{CC MAX}$	A	15
Rendimiento máximo	$U_{MAX}$	%	97

**Tabla 14. Características técnicas del inversor eléctrico.**

Una vez hemos elegido el modulo fotovoltaico y el inversor falta determinar:

- El número de módulos que formara cada rama fotovoltaica.
- El número de ramas en paralelo que se pueden conectar a cada inversor.

Esta asociación de ramas fotovoltaicas e inversor se denomina grupo, por lo que finalmente se ha de determinar el número de grupos iguales al definido anteriormente.

<b>DETERMINACION DE LOS GRUPOS</b>			
Número de módulos en serie	-	Uds	<b>16</b>
Tensión por rama en punto de máxima potencia	$V_{MPP\ MAX\ R}$	V	566
Tensión en circuito abierto de la rama	$V_{OC\ MAX\ R}$	V	710
Corriente por rama en el punto de máxima potencia	$I_{MPP\ MAX\ R}$	A	5,40
Corriente de cortocircuito por rama	$I_{CC\ MAX}$	A	5,4
Potencia por rama	$P_{solar\ rama}$	Kwp	2,800
Número de ramas en paralelo	-	Uds	<b>2</b>
Potencia del campo solar para cada inversor	$P_{SOLAR\ /INV}$	Kwp	5,600
Potencia nominal inversor/Potencia de las ramas conectadas al mismo	-	%	82,14
Corriente máxima de entrada al inversor	$I_{MAX\ INV}$	A	10,800
Número de grupos. (Conjunto inversor y ramas como los proyectados)	-	Uds	<b>1</b>
Potencia total instalada en campo solar (Suma de la instalada por grupo)	$P_{SOLAR\ ICR}$	Kwp	5,600
Potencia nominal de instalación (Suma de potencia nominal inversores)	$P_{NOM\ ICR}$	Kw	4,600

*Tabla 15. Determinación de los grupos.*

#### D. Perdidas

Por último se introducen los valores de porcentaje de pérdidas.

<b>CÁLCULO DE LAS PÉRDIDAS</b>			
Parámetro	Símbolo	Unidad	Valor
Pérdidas por dispersión en módulos	A1	%	5
Pérdidas por presencia de polvo y suciedad sobre módulos solares	A2	%	1,00
Pérdidas por reflectancia angular y espectral en los módulos solares	A3	%	1,00
Total pérdidas en el generador	A	%	7
Pérdidas en el cableado DC	B	0	1
Pérdidas en el cableado AC	C	0	1
Pérdidas por disponibilidad	D	0	1,000
Pérdidas por rendimiento del inversor	E	-	0,970
Pérdidas en seguimiento del PMP	F	0	1,000

*Tabla 16. Calculo de las perdidas*

## E. Resultados

Una vez introducidos todos los datos aparecen los resultados aparecen los datos referente a la producción energética y la prima económica por producción de energía eléctrica en cada uno de los meses del año.

Pero antes tenemos que seleccionar el régimen económico al que pertenece nuestra instalación para determinar el precio de venta del kW de energía eléctrica producido.

En nuestro caso elegiremos el tipo I.1, perteneciente a *“instalaciones ubicadas en cubiertas o fachadas de construcciones fijas, cerradas, hechas de materiales resistentes, dedicadas a uso residencial..... y con una potencia inferior a 20 kW”*.

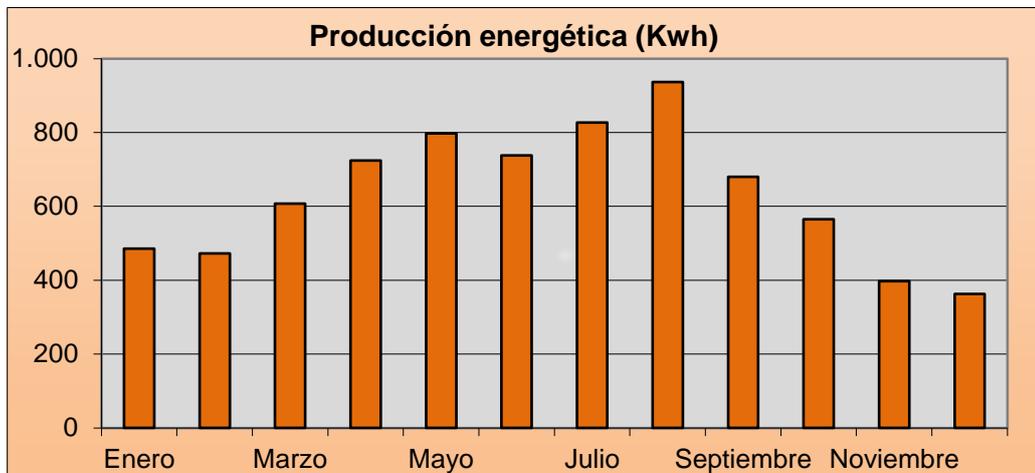
El kw producido por este tipo de instalaciones tiene fijado su precio de venta actual (Junio 2011) por el **R.D.1565/2010** en 0,288821 €.

Mes	$G_{dm}(0)$	K	$G_{dm}(a_r, b_r)$	PR	Ep 1 Kwp	Ep' 1 Kwp	Ep ICR	Ep' ICR	Prima
Uds	Kwh/(m <sup>2</sup> día)	-	Kwh/(m <sup>2</sup> día)	%	Kwh/día	Kwh/mes	Kwh/día	Kwh/mes	Euros/mes
Enero	2,59	1,33	3,21	87,22	2,80	86,668	15,66	485,34	<b>140,18 €</b>
Febrero	3,00	1,25	3,48	86,48	3,01	84,377	16,88	472,51	<b>136,47 €</b>
Marzo	3,85	1,16	4,15	84,34	3,50	108,449	19,59	607,31	<b>175,40 €</b>
Abril	5,13	1,07	5,10	84,53	4,31	129,296	24,14	724,06	<b>209,12 €</b>
Mayo	6,02	1,00	5,60	82,05	4,59	142,349	25,71	797,15	<b>230,23 €</b>
Junio	6,07	0,97	5,47	80,33	4,39	131,836	24,61	738,28	<b>213,23 €</b>
Julio	6,41	1,00	5,95	79,97	4,76	147,599	26,66	826,55	<b>238,73 €</b>
Agosto	6,68	1,08	6,70	80,56	5,40	167,277	30,22	936,75	<b>270,55 €</b>
Septiembre	4,45	1,19	4,92	82,18	4,05	121,386	22,66	679,76	<b>196,33 €</b>
Octubre	3,12	1,33	3,85	84,51	3,26	100,911	18,23	565,10	<b>163,21 €</b>
Noviembre	2,09	1,41	2,74	86,28	2,37	70,986	13,25	397,52	<b>114,81 €</b>
Diciembre	1,84	1,40	2,39	87,35	2,09	64,711	11,69	362,38	<b>104,66 €</b>

<b>Total</b>	<b>7.592,74</b>	<b>2.192,94</b>
--------------	-----------------	-----------------

**Tabla 17. Resultados productivos y económicos de la instalación fotovoltaica.**

A continuación reflejamos los datos de obtenidos del cálculo en una gráfica.

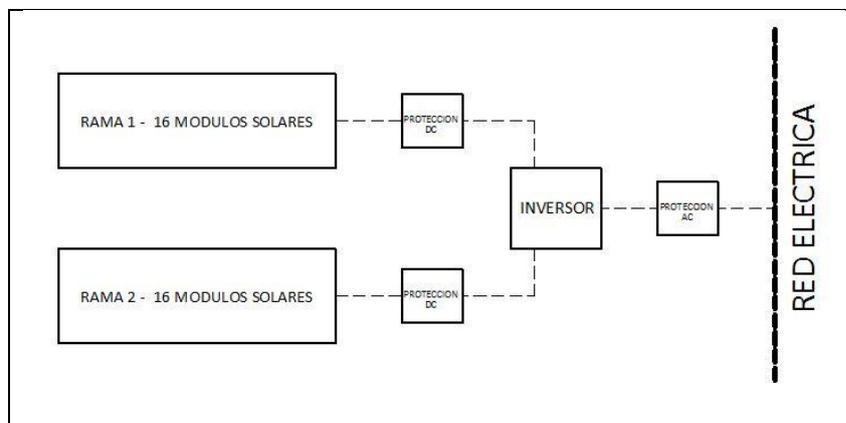


**Figura32. Producción eléctrica anual de la instalación fotovoltaica.**

Observamos cómo se alcanzan las cotas máximas de producción en los meses de verano, cuando hay más horas de sol y este incide de forma más perpendicular.

Podemos realizar un pequeño resumen de cómo ha quedado compuesta nuestra instalación fotovoltaica.

- Dos ramas compuestas por 16 módulos fotovoltaicos modelo 175M de CONERGY, con una potencia nominal de 175 w por modulo.
- Un inversor modelo NT6000 de la marca SUNWAYS, que puede recibir una potencia máxima de 6.250 w
- La potencia total instalada es de 5.600 kWp

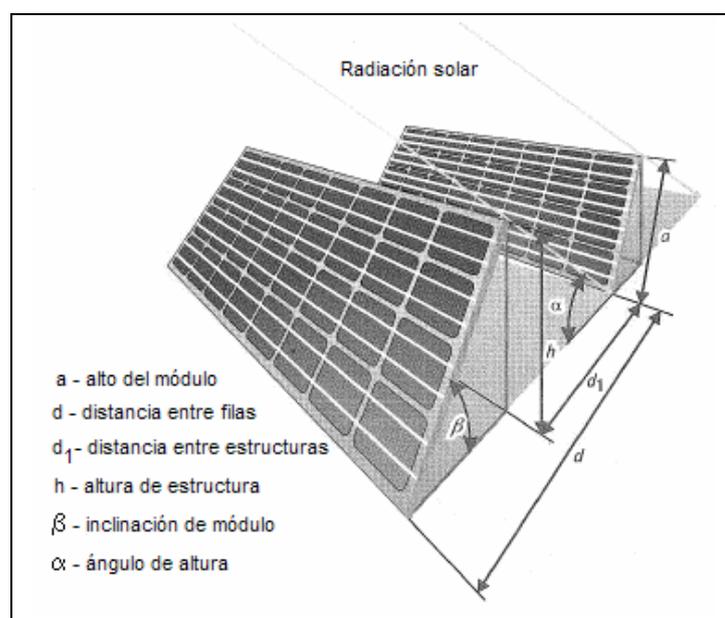


**Figura 33. Esquema de la instalación fotovoltaica.**

### 5.2.2. Integración en el edificio

En principio estaba prevista la colocación de los módulos solares en filas paralelas dispuestas sobre la cubierta, sin embargo es posible que las filas se produzcan sombra entre ellas en función de la posición del sol y la posición y distancia entre estos.

Por este motivo es necesario realizar los cálculos de comprobación de distancias mínimas entre filas, según la inclinación y orientación de los módulos.



**Figura 34. Distancias mínimas entre módulos.**

Para calcular los valores necesarios utilizaremos las siguientes formulas:

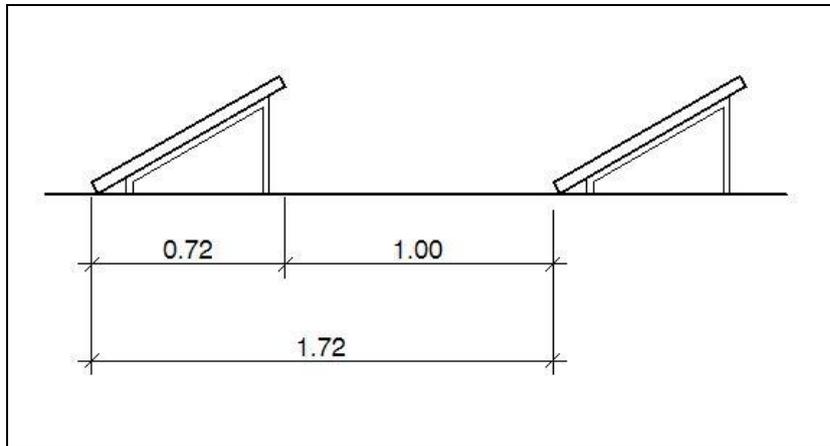
$$h = a \cdot \text{sen}(\beta) \quad h = 0.80 \cdot \text{sen}(30^\circ) = 0.40 \text{ m}$$

Según el Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red: “La distancia  $d_1$ , media sobre la horizontal, entre unas filas de módulos obstáculo, de altura  $h$ , que pueda producir sombras sobre la instalación deberá garantizar un mínimo de 4 horas de sol en torno al mediodía del solsticio de invierno”.

Esta distancia  $d_1$  será superior al valor obtenido por la expresión:

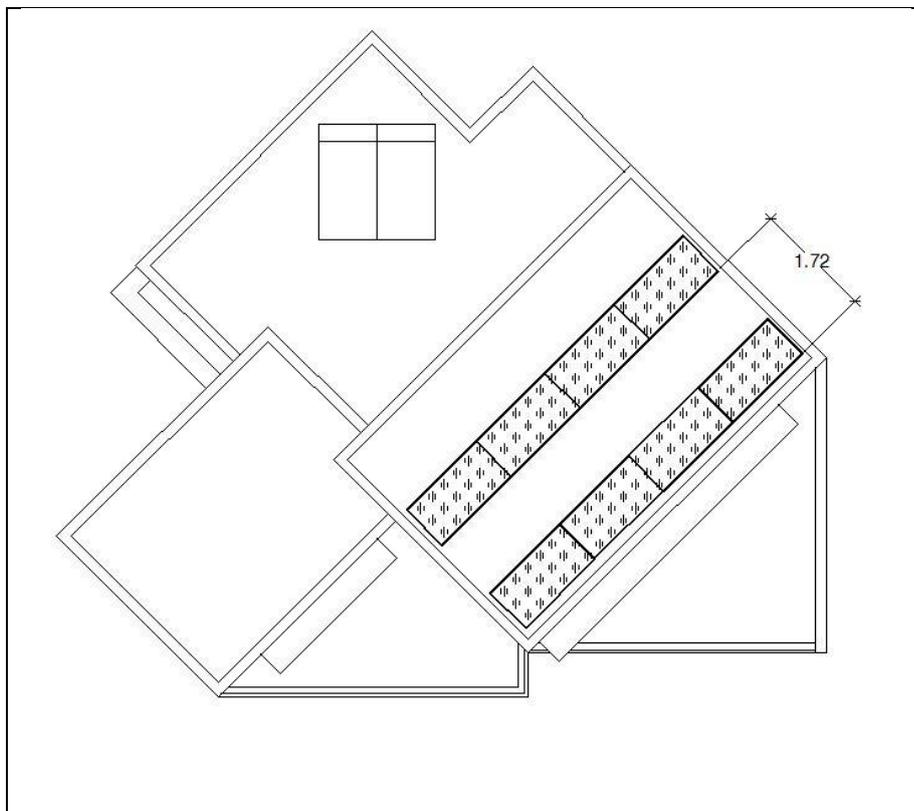
$$d_1 = \frac{h}{\tan(61^\circ - \text{Latitud})} = \frac{0.40}{\tan(61^\circ - 39,4^\circ)} = 1.00 \text{ m}$$

Por lo tanto la disposición en filas de los módulos sería de la siguiente manera:



**Figura 35. Esquema instalación módulos en filas.**

Dispuestos de esta forma los módulos solares ocuparían demasiado sitio en las cubiertas:



**Figura 36. Disposición de módulos en filas.**

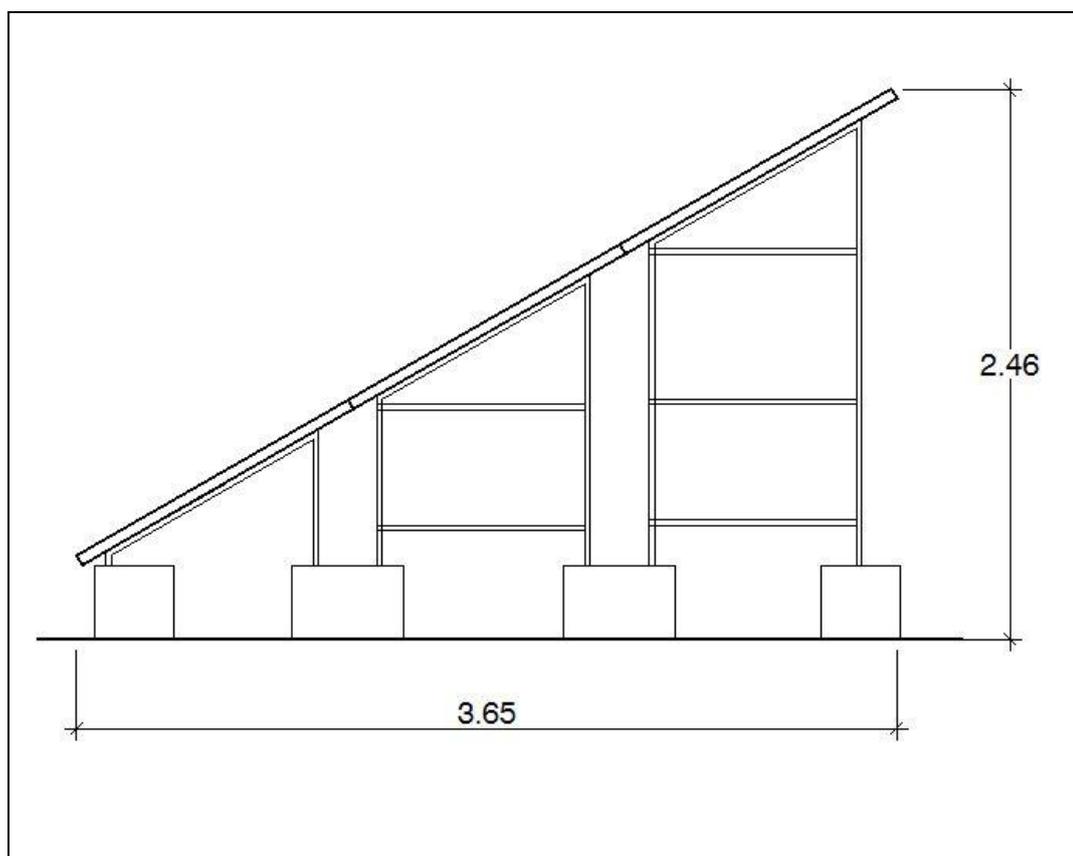
Por este motivo decidimos que no colocaremos los módulos en filas, ya que, aunque sería la mejor forma de integrarlo en el edificio con un menor impacto visual desde el suelo, no tendríamos suficiente espacio en las cubiertas.

Además recordemos que no podemos ocupar la totalidad de las cubiertas porque hay instalado un colector solar para producción de agua caliente que también ocupa un espacio.

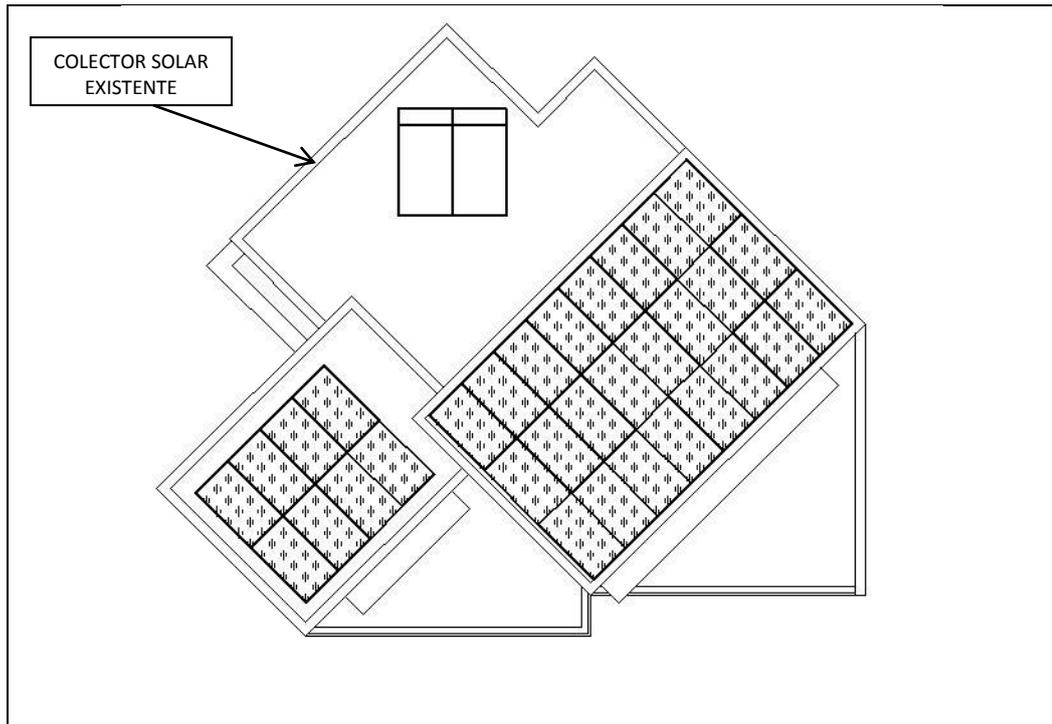
Asique decidimos que colocaremos los módulos solares dispuestos en un mismo plano.

De esta forma no se producirán sombras entre ellos. Sin embargo por otro lado la estructura crecerá en altura y será visible desde el suelo.

La disposición final de la instalación de módulos fotovoltaicos será tal y como queda reflejado en las siguientes figuras:



**Figura 37. Disposición final de módulos en alzado.**



**Figura 38. Disposición final de módulos en planta.**

A continuación podemos ver el resultado final, y como quedaría la vivienda con la instalación de los módulos solares terminada.



**Figura 39. Instalación en alzado Sureste.**



*Figura 40. Instalación en alzado Noreste.*

# 6 Viabilidad de las instalaciones

## 6.1. INSTALACIÓN GEOTÉRMICA

### 6.1.1. Presupuesto de la instalación geotérmica.

La inversión inicial a realizar por el propietario es de **23.357,18 €**. Esta cifra engloba los costes del equipo, transporte e instalación de los mismos, así como el beneficio industrial de la empresa instaladora.

En la tabla 18 se presenta el desglose del presupuesto de la instalación antes de incluir subvenciones.

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (EUROS)	COSTE (EUROS)	
Pozos, perforacion y asentamiento de los orificios de 60 m	120	75,00 €	9.000,00 €	
Tuberia de polietileno de alta densidad de 25 mm (8x60+40m)	520	1,40 €	728,00 €	
Solución anticongelante para el lazo cerrado de captadores. (10% de volumen total) <b>Propilenglycol (m<sup>3</sup>)</b>	0,1184	1.200,00 €	142,04 €	
Bomba de calor geotérmica agua-aire ECONAR 12 Kw EV 470/471	1	8.200,00 €	8.200,00 €	
Conductos de aire y accesorios	1	1.250,00 €	1.250,00 €	
	<b>SUMA PARCIAL (MATERIALES)</b>			<b>19.320,04 €</b>
Instalación (30%)	0,20	19.320,04 €	3.864,01 €	<b>3.864,01 €</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>23.184,05 €</b>
			<b>IVA (18%)</b>	<b>4.173,13 €</b>
			<b>TOTAL SIN SUBVENCION CON IVA</b>	<b>27.357,18 €</b>

**Tabla 18. Presupuesto de instalación geotérmica.**

Estamos realizando una instalación que produce energía mediante fuentes renovables y no contaminantes al ambiente con CO<sub>2</sub>.

Este tipo de instalaciones pueden recibir hoy en día subvenciones por parte de AVEN, la Agencia Valenciana de la Energía, que cofinanciada por el IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía) premian e impulsan proyectos encaminados a la explotación de los recursos energéticos renovables y fomento del uso de los biocarburantes.

Por lo tanto se considera oficial la información publicada en la ORDEN 9/2011, de 16 de Mayo, de la Conselleria de Infraestructuras y Transporte, sobre concesión de ayudas de la Agencia Valenciana de la Energía, en materia de energías renovables y biocarburantes para el ejercicio 2011. [2011/6042] que dictamina la subvención a fondo perdido de hasta el 45% del coste elegible del proyecto.

Estas ayudas van dirigidas a empresas, particulares, ayuntamientos y demás entidades sin ánimo de lucro.

Por lo tanto si contamos con la obtención de esa ayuda el presupuesto de inversión inicial sería de 15.046,45 € tal y como queda reflejado en la tabla 19.

<b>Presupuesto inicial</b>	<b>27.357,18</b>
<b>% de Subvención</b>	<b>45%</b>
<b>Subvencion (€)</b>	<b>12.310,73</b>
<b>Inversion inicial con subvencion</b>	<b>15.046,45</b>

*Tabla 19. Resumen de presupuesto con subvención.*

### 6.1.2. Ahorro energético respecto al sistema convencional.

La implantación de la instalación geotérmica permitirá ahorrar en el consumo de gas y electricidad de la vivienda.

Estudiaremos por separado el ahorro en calefacción y en refrigeración.

#### A) Calefacción:

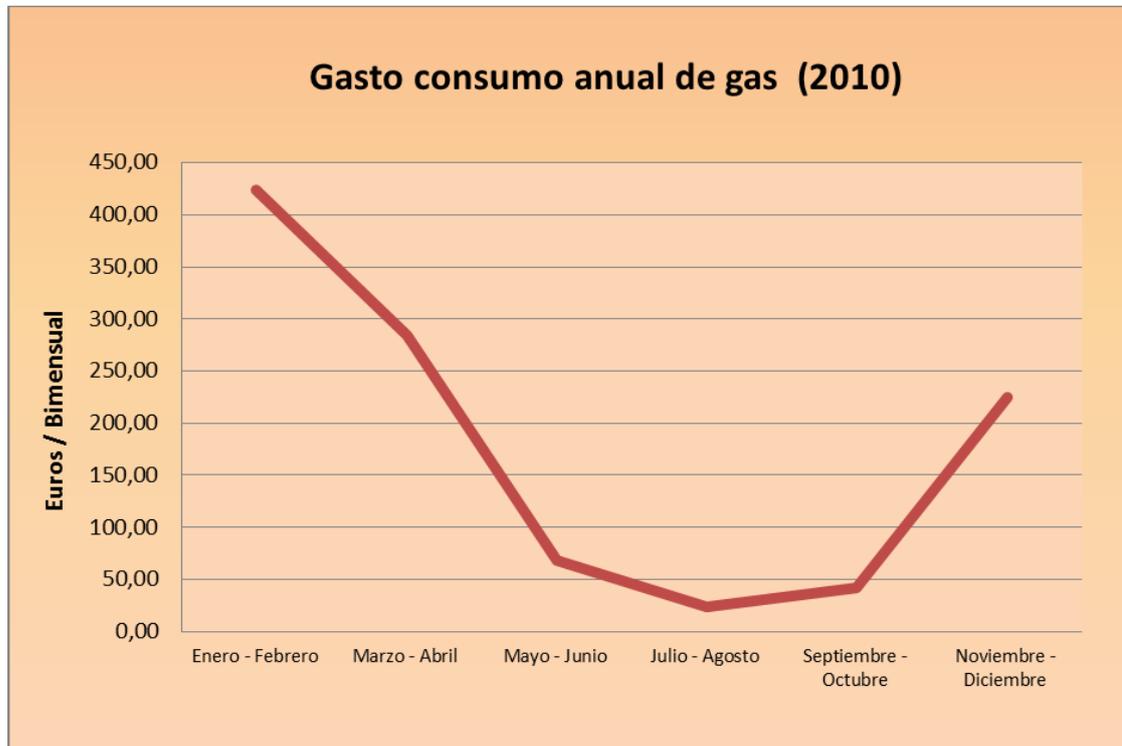
El gasto anual de gas se ha calculado en base a lo reflejado en las facturas emitidas por la compañía suministradora durante el año 2010.

En la tabla 20 podemos observar un resumen del consumo anual de gas durante el periodo de 2010.

<b>Gastos anual de gas natural de la vivienda en 2010</b>					
m <sup>3</sup>	kWh	Euros/kWh	Termino fijo	Alquiler contador	Total + IVA (18%)
1498,60	17469,18	0,04835591	46,80	13,86	<b>1.068,37 €</b>

*Tabla 20. Gasto anual de gas natural*

En la siguiente gráfica podemos observar como se producen los consumos de gas más pronunciados en los meses de invierno, mientras que descienden a niveles mínimos en la época de verano.



**Figura 41. Consumo de gas en 2010**

Obtenemos el coste medio del kW obtenido con mediante gas:

$$\frac{\text{Gasto Anual de gas}}{\text{kWh consumidos}} = \frac{1.068,37 \text{ €}}{17469,18} = \mathbf{0.061215 \text{ €}}$$

Del mismo modo obtenemos también el coste medio del kW eléctrico a partir de una factura eléctrica (tabla 4):

$$\frac{\text{Gasto bimensual electrico}}{\text{kWh consumidos}} = \frac{91.64 \text{ €}}{455} = \mathbf{0.201407 \text{ €}}$$

Concepto	Potencia kW	Factor	Euros
Potencia contratada (2 meses x 1,752399)	5,75	3,504798	20,15
Consumo kWh	455	0,140069	53,73
<b>Subtotal</b>			73,88
Impuesto sobre electricidad (4,864% subtotal x 1,05113)			3,78
		<b>Base</b>	77,66
		<b>IVA (18% Base)</b>	13,98
		<b>Total factura</b>	91,64
<b>Precio medio kW/h (total factura/consumo)</b>			<b>0,2014077 €</b>

*Tabla 21. Factura de electricidad*

La bomba de calor que hemos proyectado instalar tiene un COP (coeficiente de eficiencia energética) de 3,6, por lo tanto:

El sistema consumirá  $\frac{9 \text{ kW}}{3,6} = \mathbf{2,5 \text{ kW}}$  para generar los 9 kW de calefacción, produciendo, por lo tanto, un ahorro de  $9 - 2,5 = \mathbf{6,5 \text{ kW}}$ .

Siendo 17.469,18 los kW de gas consumidos, los kW eléctricos gastados anualmente para hacer funcionar la bomba de calor son:

$$\frac{\text{kW de gas anuales}}{COP} = \frac{17.469,18 \text{ kW}}{3,6} = \mathbf{4.852,55 \text{ kW}}$$

cuyo coste anual es de  $4.852,55 \text{ kW} \times 0,201407 \text{ €} = \mathbf{977,34 \text{ €/año}}$

Luego el ahorro anual correspondiente en calefacción será:

$$1.068,37\text{€ (consumo gas)} - 977,34 \text{ € (electricidad bomba calor)} = \mathbf{91,03 \text{ €}}$$

**B) Refrigeración:**

Actualmente la vivienda no dispone de ningún tipo de instalación de refrigeración, por lo que para realizar nuestro estudio vamos a suponer una instalación convencional de aire acondicionado formado por una bomba de calor aire-aire que distribuye el frío a través de conductos.

La bomba de calor de la instalación supuesta es la marca Mitsubishi Electric, modelo de la serie PEHD, con una potencia de refrigeración de 12,5 kW y un EER (coeficiente eficiencia energética) de 2,5.

$$\text{El sistema consumirá } \frac{12,5kW}{2,5} = \mathbf{5 \text{ kW}} \text{ para generar los 12,5 kW}$$

El gasto de energía eléctrica, durante el periodo estival Junio – Septiembre, producido por la bomba de calor convencional será el siguiente:

$$5kW/h \times 8 \text{ h/día} \times 30 \text{ días} \times 4 \text{ meses} = \mathbf{4.800 \text{ kW}}$$

$$4.800 \text{ kW} \times 0,201407 \text{ €/kW} = \mathbf{966,75 \text{ €}}$$

Realizamos el mismo cálculo con la bomba de calor geotérmica de la marca ECONAR, modelo EV 470/471, con una potencia de refrigeración de 14 kW, y un ERR de 4,2.

$$\text{El sistema consumirá } \frac{13kW}{4,2} = \mathbf{3,09 \text{ kW}} \text{ para generar los 13 kW necesarios para refrigerar la vivienda.}$$

El gasto de energía eléctrica durante el mismo periodo de verano producido por la bomba de calor geotérmica será el siguiente:

$$3,09 \text{ kW/h} \times 8 \text{ h/día} \times 30 \text{ días} \times 4 \text{ meses} = \mathbf{2.966,40 \text{ kW}}$$

$$2.966,40 \text{ kW} \times 0,201407 \text{ €/kW} = \mathbf{597,45 \text{ €}}$$

El ahorro total anual de energía eléctrica en la producción de refrigeración del sistema geotérmica respecto al convencional será pues:

$$\text{Ahorro eléctrico total} = 966,75 \text{ €} - 597,45 \text{ €} = \mathbf{369,30 \text{ €}}$$

### C) Totales:

El ahorro energético por año, por gasto de gas y electricidad, será:

$$\text{Ahorro total anual} = \text{Ahorro en calefacción} + \text{Ahorro en climatización}$$

$$\text{Total} = 91,03 \text{ €} + 369,30 \text{ €} = \mathbf{460,33 \text{ €}}$$

### 6.1.3. Análisis económico de la instalación.

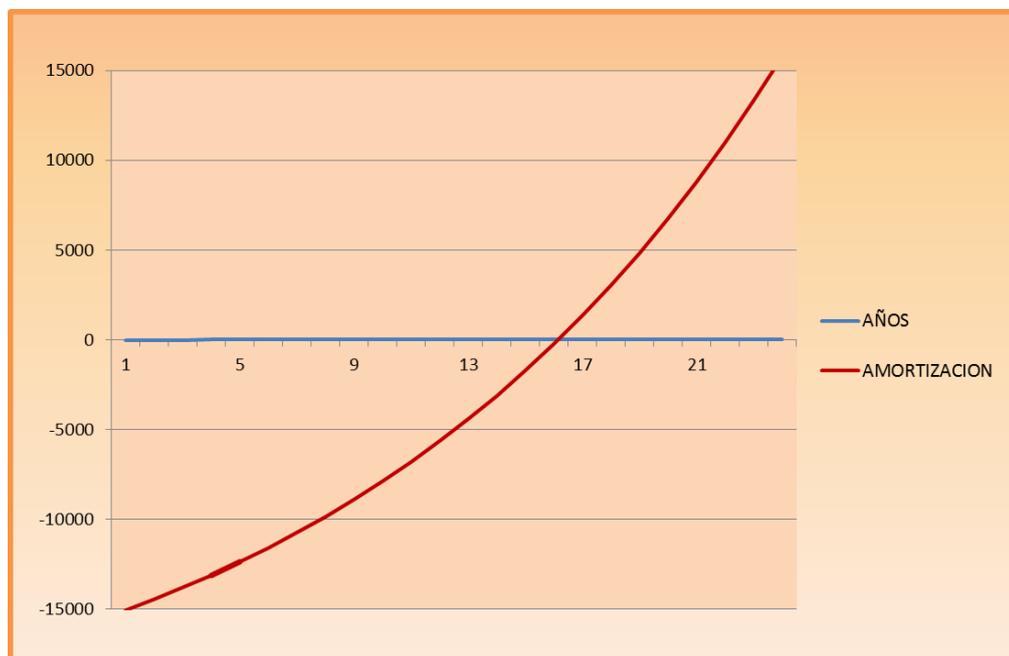
A partir de los datos obtenidos en vamos a construir la simulación del estado económico de la inversión, su evolución futura y el periodo de amortización, que nos permitirá tener una visión sobre la viabilidad del proyecto en cuanto a su, TIR (tasa interior de retorno) y Retorno de la inversión (Pay – Back).

AÑO	Inv. Inicial	1	5	10	15	20
Ingreso (ahorro gas y electricidad)		460,40	603,49	846,43	1.187,16	1.665,05
Ahorro en mantenimiento (1% inversión)		150,46	182,89	233,42	297,91	380,22
Inversión	<b>-15046,45</b>					
Flujo de caja	-15046,45	610,86	786,38	1.079,85	1.485,07	2.045,27
Pay-back	-15046,45	-14435,58	-11567,40	-6.792,83	-230,24	8.803,13
<b>TIR</b> (Tasa Interna de Retorno)			-34,05%	-20,84%	-3,00%	2,00%

**Tabla 22. Previsión económica de la instalación en 20 años**

Trasladamos los datos obtenidos a una gráfica y obtenemos una visión más clara de la evolución de la inversión en el tiempo.

Podemos observar que el retorno de la inversión no se produce de una manera lineal en el tiempo, sino que con el paso del tiempo vamos recuperando una mayor cantidad de dinero en el mismo periodo de tiempo debido principalmente a la previsión de aumento de precio del gas y la electricidad en los próximos años.



*Figura 42. Amortización de la instalación Geotérmica*

Sera a partir de los 15 años cuando hayamos recuperado la inversión inicial de 15.046,45 € realizada en la instalación del sistema de climatización geotérmico.

#### **6.1.4. Ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>.**

Las bombas de calor geotérmicas reúnen características positivas para el medio ambiente. Sus efectos beneficiosos, en términos de reducción de CO<sub>2</sub>, son indiscutibles

cuando se comparan con otras posibilidades de calefacción y de refrigeración de edificios residenciales y comerciales.

Esa circunstancia, unida a un menor consumo de energía eléctrica, es el motivo por el que los organismos públicos en un gran número de países desarrollados apoyan e incentivan la instalación de bombas de calor acopladas al terreno como forma de reducir la dependencia energética de los combustibles fósiles.

Por último, es interesante verificar el ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este ahorro de emisiones se traduce en un ahorro económico en el momento en que se pone un precio al derecho de emisión.

Desde el año 2005 se ha establecido un mercado financiero donde se compran y venden derechos de emisión. Estos derechos representan la posibilidad de emitir una tonelada de CO<sub>2</sub> a la atmosfera. Su precio oscila actualmente alrededor de los 17 €. (Datos de Marzo del 2011).

Por lo tanto es muy importante en todo tipo de instalaciones energéticas modernas calcular las nuevas emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que todo ahorro de tipo medioambiental supone un ahorro económico importantísimo.

Para el cálculo de los derechos de emisión consumidos se tiene en cuenta la siguiente expresión:

Dónde:

$$tCO_2 = DA \text{ (kWh)} \cdot FE \cdot \left( \frac{tCO_2}{kWh} \right)$$

tCO<sub>2</sub> = Toneladas de dióxido de carbono emitidas

DA = Datos de la actividad. Representa la diferencia del consumo de electricidad de un sistema convencional de un sistema geotérmico.

FE = Factor de emisión. Kg de CO<sub>2</sub> emitidas por cada kWh.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> geotérmicas dependerán fundamentalmente del COP de la instalación y del FE medio del sistema eléctrico en el que nos encontramos, ya que la energía primaria utilizada por la instalación geotérmica es energía eléctrica.

De esta forma, será necesario utilizar un factor de emisión medio para el sector eléctrico español, que será el siguiente:

$$FE_{\text{medio ELECTRICIDAD}} = 0,501 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$$

$$FE_{\text{medio GAS}} = 0,563 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}}$$

El ahorro del consumo, y las emisiones de CO<sub>2</sub> será:

INSTALACIÓN	AHORRO ANUAL (KW)	FACTOR EMISION CO <sub>2</sub>	EMISIONES CO <sub>2</sub> (kgCO <sub>2</sub> )
Calefacción	12.616,63	0,563	7.109,16
Refrigeración	1.833,60	0,501	918,63
<b>TOTAL:</b>	<b>14.450,23</b>		<b>8.027,79</b>

*Tabla 23. Ahorro de consumo y emisiones de CO<sub>2</sub>*

La instalación geotérmica produce un ahorro anual de 8,02 tCO<sub>2</sub>. Este ahorro de emisiones se traduce en el siguiente ahorro económico a favor de la instalación geotérmica:

$$\text{Ahorro CO}_2 = 8,02 \text{ tCO}_2 \times 17 \text{ €/tCO}_2 = \mathbf{136,34 \text{ €/año}}$$

Este ahorro económico en de la geotermia supone un extra de beneficio anual, lo cual mejora ligeramente los cálculos económicos. Este ahorro adicional influye

favorablemente en el conjunto del país y supondría una mejora en la amortización de la inversión si repercutiese en los usuarios de la instalación.

## 6.2. INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA

### 6.2.1. Presupuesto de la instalación fotovoltaica.

Después de realizar un estudio de mercado sobre venta de componentes fotovoltaicos en la red, hemos encontrado el presupuesto más adecuado en relación calidad-precio, con productos de dos marcas importantes del sector fotovoltaico como son CONERGY y SUNWAYS.

El presupuesto obtenido para la instalación fotovoltaica es el siguiente:

COMPONENTE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (EUROS)	COSTE (EUROS)	
Modulo fotovoltaico CONERGY 175M serie PH	32	678,50 €	21.712,00 €	
Inversor electrico de conexión a red SUNWAYS NT6000	1	1.615,00 €	1.615,00 €	
Sistema CONERGY de estructura metalica de acero galvanizado para montaje de modulos fotovoltaicos.	32	38,20 €	1.222,40 €	
Cableado y protecciones del sistema. CONERGY	1	240,00 €	240,00 €	
	<b>SUMA PARCIAL (MATERIALES)</b>			<b>24.789,40 €</b>
Instalación	1,00	2.500,00 €	2.500,00 €	<b>2.500,00 €</b>
<b>TOTAL</b>				<b>27.289,40 Pts</b>

**IVA (18%) 4.912,09 €**

<b>TOTAL CON IVA</b>	<b>32.201,49 €</b>
----------------------	--------------------

**Tabla 24. Presupuesto instalación fotovoltaica**

Actualmente la implantación de instalaciones fotovoltaicas no recibe ningún tipo de ayuda o subvenciones de forma directa, ya que el beneficio se obtiene a partir de que esta comienza a producir energía y se vende el kW de electricidad a un precio superior al de mercado.

Actualmente el kW producido por nuestra instalación se vendería a un precio de **28,8821 c€/kWh** según la tarifa calculada en aplicación de lo dispuesto en la Disposición adicional cuarta del Real Decreto 1565/2010, de 19 de noviembre para instalaciones fotovoltaicas Tipo I (sobre tejado <20 kW).

### 6.2.2. Comparativa de la energía eléctrica consumida - producida

Vamos a realizar un estudio para comprobar si con la instalación proyectada podemos producir al menos la misma cantidad de electricidad que se consume en la vivienda.

En la tabla 25 podemos apreciar el consumo eléctrico de la vivienda durante el periodo Enero – Diciembre de 2010. Los datos han sido obtenidos de la facturación mensual de la compañía eléctrica, en este caso IBERDROLA.

MES	CONSUMO (kW)
Enero	466
Febrero	430
Marzo	454
Abril	356
Mayo	399
Junio	443
Julio	388
Agosto	338
Septiembre	396
Octubre	467
Noviembre	524
Diciembre	586
<b>TOTAL:</b>	<b>5.247 kW</b>

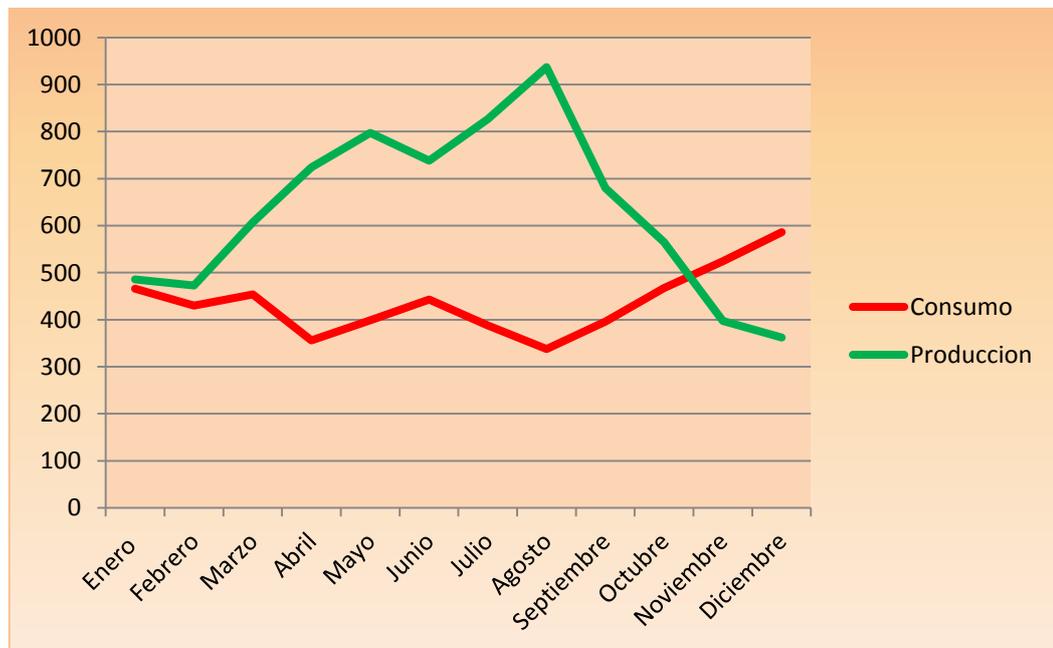
*Tabla 25. Consumo eléctrico de la vivienda en 2010*

En la tabla 26, se muestra la producción estimada que tendrá nuestra instalación fotovoltaica en el periodo de un año.

MES	PRODUCCION (kW)
Enero	485
Febrero	473
Marzo	607
Abril	724
Mayo	797
Junio	738
Julio	827
Agosto	937
Septiembre	680
Octubre	565
Noviembre	398
Diciembre	362
<b>TOTAL:</b>	<b>7.593 kW</b>

*Tabla 26. Producción anual estimada de la inst. Fotovoltaica.*

Si trasladamos los datos a una gráfica podremos observar visualmente y analizar con más claridad los resultados obtenidos.



*Figura 43. Consumo y producción de energía eléctrica*

Al comienzo del año el consumo y la producción están equiparados, y es a partir de marzo cuando se dispara la producción hasta llegar a su pico máximo en el mes de Agosto, comenzando entonces una caída importante de la producción.

El consumo tiene una línea más regular, comenzando un descenso moderado en la época de primavera y verano, alcanzando su pico mínimo en agosto y su pico máximo en el mes de Diciembre.

Resulta interesante observar cómo se producen exactamente en los mismos meses los cambios de tendencia en una y otra línea, aunque de forma inversa y más moderada en el caso del consumo.

Los picos máximos y mínimos de consumo coinciden con los mínimos y máximos de producción respectivamente.

### **6.2.3. Estudio económico de la instalación solar fotovoltaica.**

La vida útil de una instalación solar fotovoltaica es la vida esperada de los materiales que la componen, pero sobre todo la de los módulos fotovoltaicos, que es la partida de costes más elevada.

No se conoce con exactitud la longevidad de un generador fotovoltaico puesto que la primera instalación fotovoltaica Europea conectada a red, que sigue en funcionamiento actualmente, está ubicada en Lugano School of Engineering, con módulos de silicio monocristalino de 9,324 kWp de potencia total, entró en funcionamiento el 13 de Mayo de 1982.

Teniendo en cuenta que la tecnología ha evolucionado mucho desde entonces, se estima que los módulos fotovoltaicos pueden durar más de 40 años. Esto lo corroboran instalaciones aisladas más antiguas aún todavía operativas. Por supuesto, un buen trabajo de mantenimiento alarga la vida útil de una Instalación fotovoltaica.

Vamos a realizar la simulación económica, tomando como base los siguientes datos:

Inversión inicial: **32.201,49 €**

Periodo de tiempo: **30 años**

Precio de venta kW producido: **0,288821 €** (Mayo 2011)

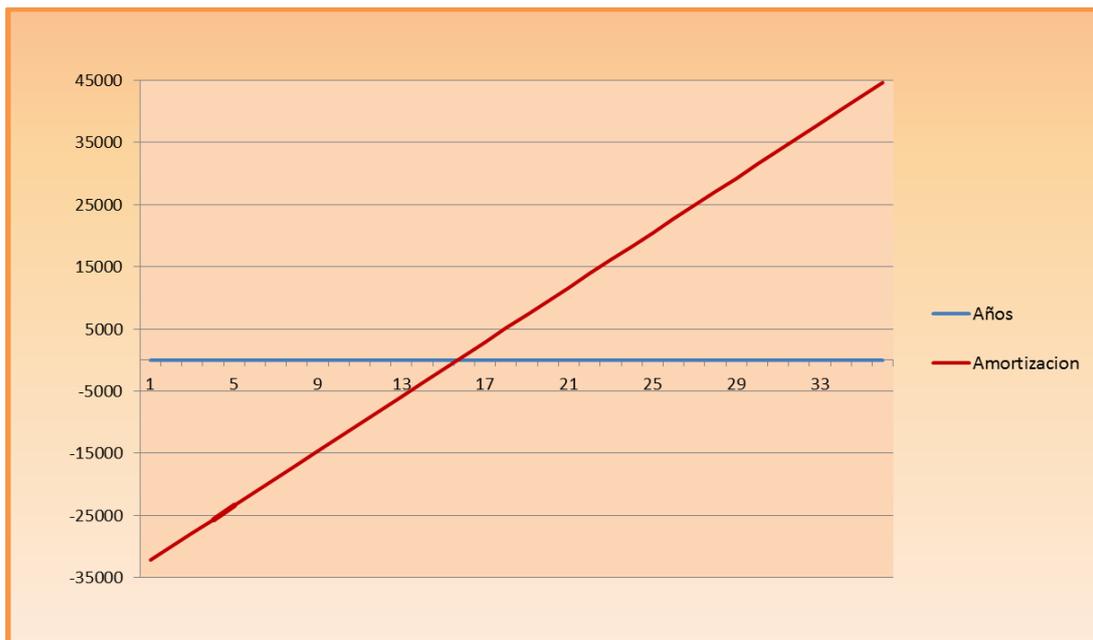
Amortización anual: **2.192,94 €**

Reflejamos los datos obtenidos de forma resumida. (La serie completa se encuentra en el Anexo 3):

AÑO	Inversión	1	5	10	15	20	25	30
<b>Inversión</b>	-32.200,00							
<b>Flujo de caja</b>	-32.200,00	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94
<b>Pay-back</b>	-32.200,00	-30.007,06	-27.814,12	-10.270,58	694,13	11.658,83	22.623,54	33.588,25
<b>TIR</b> (Tasa Interna de Retorno)			-27,73%	-6,44%	0,27%	3,14%	4,60%	5,41%

**Tabla 27. Evolución económica de la instalación Fotovoltaica.**

Trasladamos los datos obtenidos a la representación gráfica:



**Figura 44. Amortización de la instalación fotovoltaica.**

Observamos que la recuperación de la inversión inicial se obtiene pasados los 14 años y que se produce de forma lineal.

De todos modos se trata de una simple orientación, ya que no tenemos datos certeros de cómo evolucionara el precio del kW fotovoltaico en los próximos años.

En el año 2004 el gobierno incentivó la instalación de plantas solares fotovoltaicas, asegurando mediante el RD 436/2004 la compra de la electricidad producida con una prima en el precio de venta del 575% sobre la tarifa normal eléctrica. Todo eso garantizado durante un periodo de 25 años.

Sin embargo han pasado unos pocos años y, debido quizá en parte por el momento de crisis económica que se vive en la actualidad, se ha producido un recorte en las primas a la producción fotovoltaica, con la publicación del nuevo Real Decreto de la fotovoltaica **R.D.1565/2010**, además con carácter retroactivo.

Este recorte afecta mayormente a las grandes plantas de suelo productoras de electricidad con una potencia de más de 50 kW que han visto reducidas sus primas en un 65 %.

Las pequeñas instalaciones menores de 20 kW solo han sufrido una reducción en sus primas del 5%.

# Conclusiones

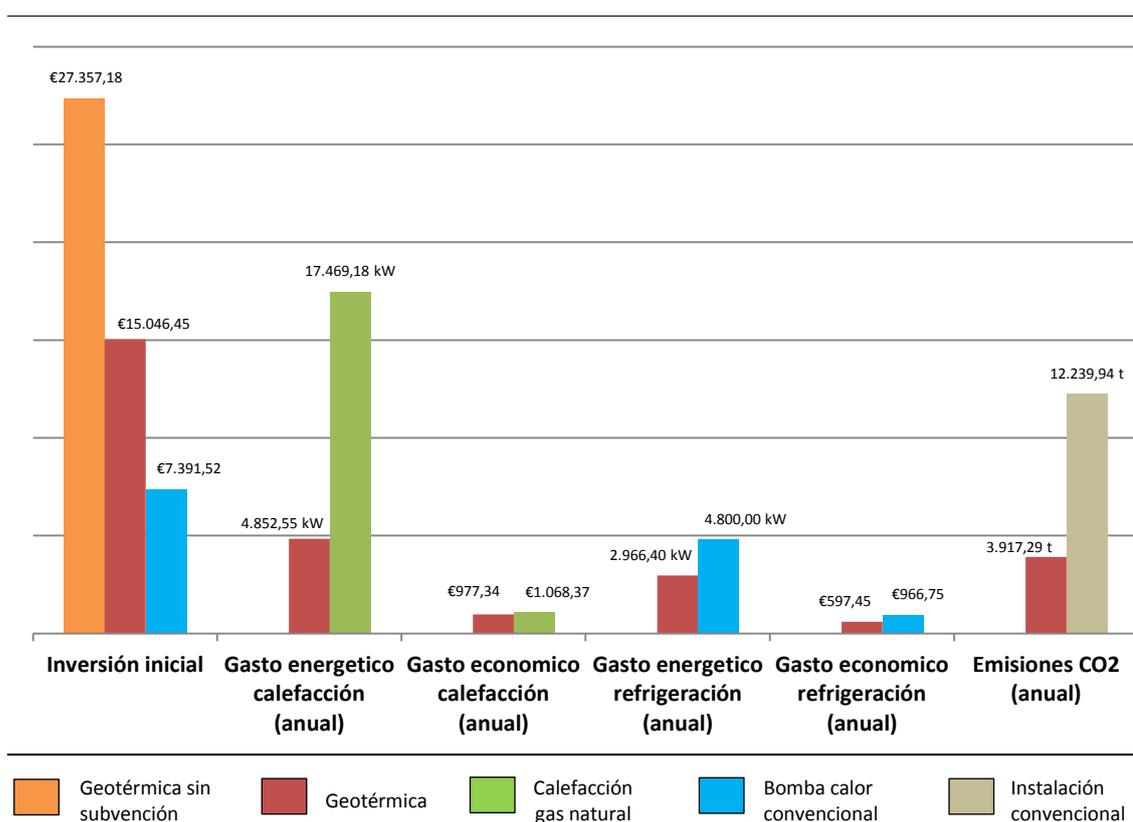


## CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio de las instalaciones solar y geotérmica y su aplicación a una vivienda unifamiliar, se pueden considerar como superados los objetivos planteados al inicio de este proyecto.

Se van a presentar por separado, primero las conclusiones referentes a la instalación geotérmica y a continuación las relacionadas con la instalación solar fotovoltaica. Finalmente se realizarán unos comentarios finales de conjunto.

En la siguiente grafica se representan los resultados obtenidos después de realizar el estudio de la instalación geotérmica.



**Figura 45. Resultados de estudio instalación geotérmica.**

- La instalación de climatización geotérmica es un sistema muy eficiente pero que necesita de una inversión inicial elevada si lo comparamos con otros sistemas

convencionales. En nuestro caso asciende a **27.357,18 €**. Esto es debido principalmente a la necesidad de realizar excavación o, como es nuestro caso, perforación para disponer los captadores geotérmicos. Esto encarece el coste total de la instalación, ya que comparado con una instalación convencional por ejemplo de bomba de calor aire-aire, la cual tendría un coste de **7.391,52 €**, y solo sería necesaria la instalación de las máquinas (unidad exterior e interior), que también tiene un precio inferior al de la geotérmica. Esta inversión inicial se ve reducida gracias a la existencia de subvenciones que premian la implantación de instalaciones que utilizan energías alternativas, y que en nuestro caso alcanza el 45% de la inversión, **12.310,73 €**. Con lo cual deberíamos realizar un desembolso inicial de **15.046,45 €**.

- La instalación geotérmica tiene un consumo muy inferior de energía (**4.852,55 kW**) si lo comparamos con una instalación de calefacción a gas natural. Sin embargo en términos económicos esta diferencia tan grande desaparece y queda reducida un pequeño ahorro (**91,03 €**). Esto es debido a la gran diferencia de precio que hay entre la electricidad y el gas natural (**0,0483 €** el kW de gas y **0,2014 €** el kW de electricidad).
- Comparada con un sistema de refrigeración de aire acondicionado formado por bomba de calor convencional (aire-aire) podemos observar que se produce un ahorro del sistema geotérmico en cuanto al consumo energético, **2.966,40 kW** frente a los **4800 kW** de la instalación convencional. Económicamente el ahorro resultante es de la misma proporción, siendo de **369,30 €**, ya que el tipo energía que utilizan las dos instalaciones es la misma, electricidad.
- La instalación geotérmica produce menos CO<sub>2</sub> a la atmosfera a lo largo de un año (calefacción y refrigeración) que la suma de las dos instalaciones convencionales (calefacción a gas natural y bomba de calor aire-aire). **3.917 t.** frente a los **12.239,94 t.** de las convencionales, que tiene un valor tan elevado por el uso de gas natural.

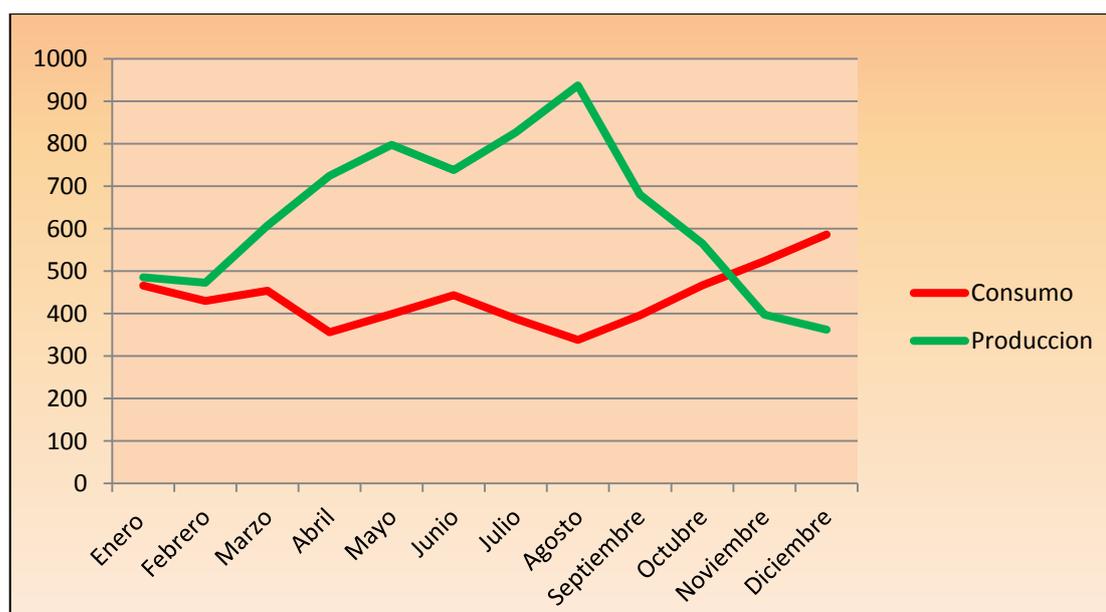
Podemos afirmar pues que la instalación de climatización geotérmica supera a las convencionales en cuanto a menor consumo energético, menor gasto energético, y menor contaminación del medio ambiente.

La instalación solar fotovoltaica ha sido diseñada para ofrecer una potencia total cercana a los **6 kW** y obtener del sol al menos la misma cantidad de energía eléctrica consumida por la vivienda y devolverla a la red obteniendo por ello un beneficio económico gracias a la prima que ofrece el estado por cada kW introducido en la red.

Al igual que la instalación geotérmica, la central fotovoltaica supone una inversión inicial elevada, pero esta nos reporta beneficios a partir de su puesta en marcha, tanto económicos como para el medioambiente, ya que vendemos cada kw producido a un precio muy superior al de la energía eléctrica consumida y además no produce ninguna emisión de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

Según el estudio realizado la instalación fotovoltaica proyectada producirá anualmente **7.593 kW** de electricidad, una cantidad superior a los **5.247 kW** consumidos por la vivienda en el año 2010.

En el grafico mostrado a continuación podemos se refleja mensualmente la diferencia entre la energía eléctrica consumida por la vivienda y la que según los cálculos producirá nuestra instalación fotovoltaica.



**Figura 46. Consumo y producción de energía eléctrica**

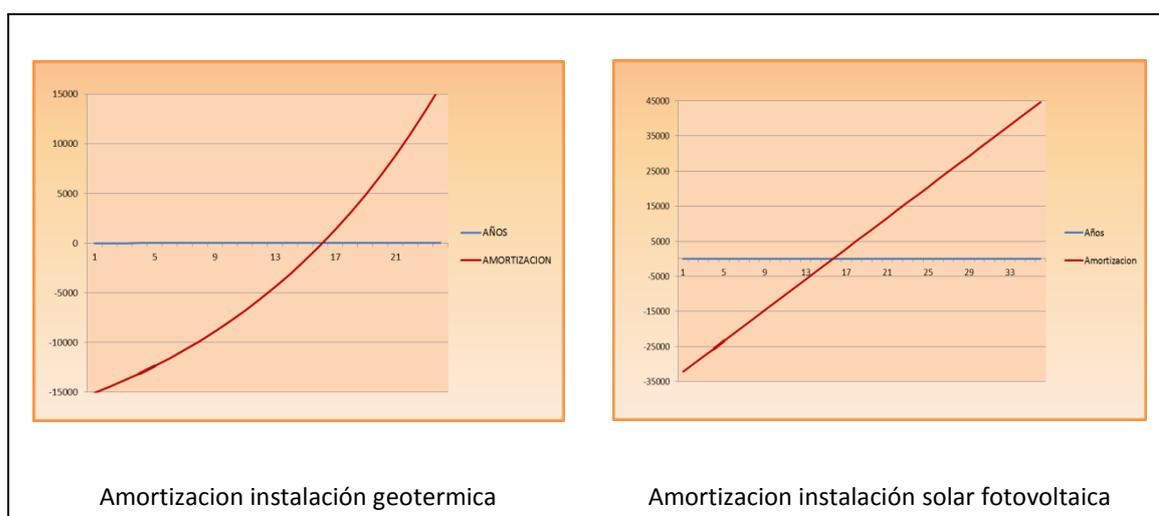
A partir de los datos mostrados en la gráfica podemos obtener las siguientes conclusiones.

- La producción de electricidad de la instalación es superior al consumo de la vivienda en todos los meses del año excepto en Noviembre y Diciembre.
- Las líneas de producción y consumo avanzan enfrentadas a lo largo de los meses, de forma que los cambios de tendencia en una y otra coinciden exactamente pero de forma opuesta. El punto máximo de producción, en el mes de Agosto, coincide con el punto mínimo de consumo, así como el punto máximo de consumo, en el mes de Diciembre, coincide con el mínimo de producción.

En lo referente a la recuperación de las inversiones realizadas en las diferentes instalaciones, una vez realizado las simulaciones hemos obtenido resultados similares que podemos observar en la figura 47.

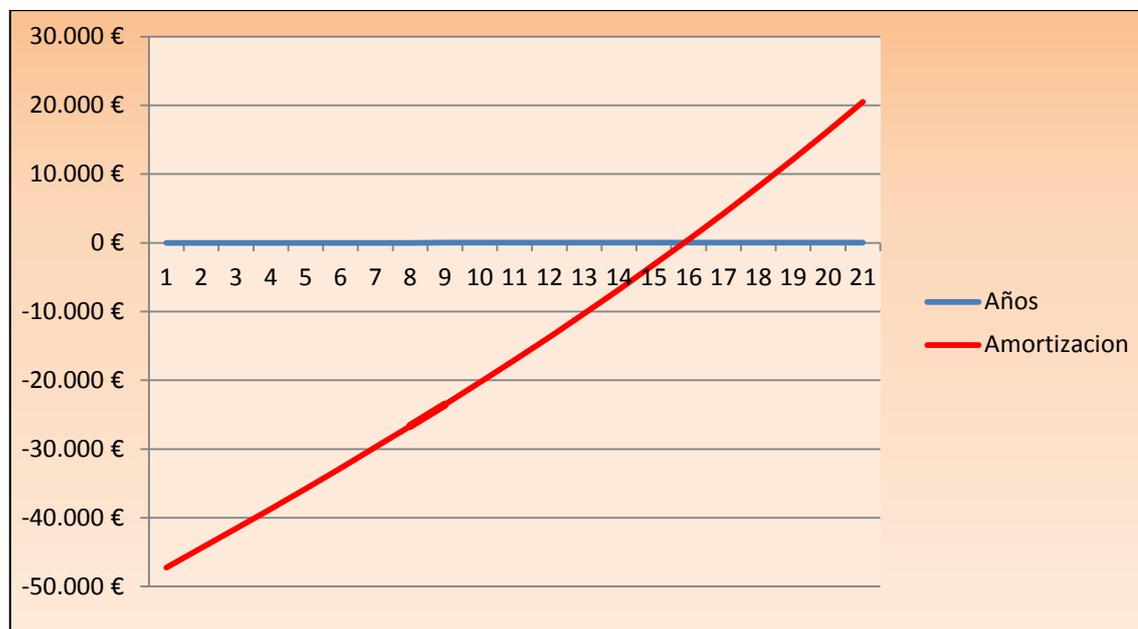
Para la instalación de climatización geotérmica la inversión inicial sería de **15.046,45 €**, y una vez en funcionamiento se amortizaría a partir de los **15 años**.

En cuanto a la instalación solar fotovoltaica el resultado es similar, ya que para una inversión inicial de **32.200 €**, el periodo de retorno sería también de **15 años**.



**Figura 47. Amortización de las instalaciones**

Si se realizaran las dos instalaciones, el periodo de retorno común, para una inversión inicial de **47.246,45 €**, sería igualmente de **15 años**, tal y como refleja la figura 48.



**Figura 48. Amortización de instalaciones conjuntas.**

El **TIR** de la inversión queda reflejado en la siguiente tabla.

PERIODO	5 AÑOS	10 AÑOS	15 AÑOS	20 AÑOS
TIR	-29,64%	-9,65%	-0,84%	2,82%

**Tabla 28. Tasa interior de retorno de la inversión conjunta.**

Por lo tanto, después de realizar este estudio queda claro que con la instalación de sistemas que utiliza energías renovables, obtenemos ahorro en cuanto al consumo energético, lo que nos reporta también ahorro económico, y además disminuimos las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmosfera.

Hoy en día las instalaciones que funcionan con energías renovables son viables gracias a las ayudas estatales, bien subvencionando parte de la instalación o primando el precio de la energía producida.

Sin embargo el objetivo que se pretende conseguir es que este tipo de instalaciones sean factibles sin necesidad de ningún tipo de ayudas en pocos años.

En cuanto a mis conclusiones personales, la realización de este Proyecto Final de Grado ha supuesto un gran reto. No solo por la dificultad que puede plantear el desarrollo de un Proyecto, que significa el cierre de mis estudios universitarios, y que desde el comienzo de tu carrera tienes en mente que debes realizar algún día, aunque prefieres dejarlo ahí aparcado, sin pensar mucho en ello, hasta que llega el día, y te debes enfrentar a él.

Además hay que unir el hecho de afrontar un proyecto en el que, en mi caso, tengo que diseñar, calcular y estudiar algo tan técnico como es una instalación de climatización geotérmica y una instalación solar fotovoltaica, algo más propio de un ingeniero que de alguien que se prepara para gestionar la construcción de edificios.

Sin embargo, debo decir que una vez comienzas a trabajar y conectas con tu proyecto, todo se va resolviendo y lo que parecía muy difícil se va afrontando gracias al estudio, investigación y búsqueda de bibliografía y otros proyectos donde apoyarte y encontrar soluciones, además de contar con la ayuda de nuestros tutores de proyecto, que nos guían y dirigen para llegar al objetivo.

Por lo tanto puedo afirmar que la realización del presente proyecto ha sido una experiencia muy positiva para mí y que pienso me ayudara en el futuro a afrontar nuevos retos.

---

## BIBLIOGRAFIA

- [1.] **“Manual de Geotermia”**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) e Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 2008.
- [2.] **“Energía geotérmica de baja temperatura”**. Antonio Creus Solé. CEYSA. 2008.
- [3.] **“Energía solar fotovoltaica”**. Javier María Méndez Muñiz. Rafael Cuervo García. FUNDACIÓN CONFEDERAL. 2009.
- [4.] **“Sistemas fotovoltaicos”**. Miguel Alonso Abella. S.A.P.T. PUBLICACIONES TECNICAS S.L. 2005.
- [5.] **“Compendio de energía Solar”**. José María Fernández Salgado. AMV EDICIONES. 2010.
- [6.] **“Guía de la energía solar”**. Comunidad de Madrid. 2006
- [7.] **“Guía técnica de diseño de sistemas de bomba de calor geotérmica”**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). 2010.
- [8.] **“Código Técnico de la Edificación”**. Ministerio de vivienda. 2006.
- [9.] **“Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red”**. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA). 2002.

## SITIOS WEB

- Soliclima Energía Solar [www.soliclimate.com](http://www.soliclimate.com) (Abril 2011)
- Boletín Oficial del Estado [www.boe.es](http://www.boe.es) (Mayo 2011)
- Información energías renovables [www.jumanjisolar.com](http://www.jumanjisolar.com) (Abril 2011)

- Agencia Estatal de Meteorología [www.aemet.es](http://www.aemet.es) (Mayo 2011)
- Ansoltec Energías Renovables [www.ansoltec.com](http://www.ansoltec.com) (Mayo 2011)
- Bombas de calor Geotérmicas [www.econar.com](http://www.econar.com) (Mayo 2011)
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [www.idae.es](http://www.idae.es) (Marzo 2011)
- Equipos de energías renovables [www.conergy.es](http://www.conergy.es) (Mayo 2011)
- Agencia Valenciana de la Energía [www.avent.es](http://www.avent.es) (Abril 2011)
- Equipos de aire acondicionado [www.mitsubishielectric.es](http://www.mitsubishielectric.es) (Mayo 2011)
- Empresa de Instalaciones Geotérmicas [www.girodgeotermia.com](http://www.girodgeotermia.com) (Abril 2011)

# Anexos



**Anexo 1 – Documentación gráfica de la vivienda**



## **RELACION DE PLANOS**

- PLANO 1 – SITUACIÓN, EMPLAZAMIENTO, PARCELA.
- PLANO 2 – PLANTA BAJA. DISTRIBUCION, COTAS Y SUPERFICIES.
- PLANO 3 – PLANTA BAJA. DISTRIBUCION, COTAS Y SUPERFICIES.
- PLANO 4 – PLANTA CUBIERTAS Y SÓTANO.
- PLANO 5 – SECCIONES.
- PLANO 6 – ALZADOS.
- PLANO 7 – INSTALACIÓN SOLAR FOTOVOLTAICA.
- PLANO 8 – INSTALACIÓN GEOTÉRMICA. DISTRIBUCION DE CONDUCTOS Y BOMBA DE CALOR.
- PLANO 9 – INSTALACIÓN GEOTÉRMICA. SECCION Y LOCALIZACION DE LOS POZOS







































**Anexo 2 – Cálculo de cargas térmicas**



## 1. INSTALACIÓN DE CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA

El cálculo de las necesidades térmicas de la vivienda se realiza teniendo en cuenta las condiciones interiores de confort que recomienda el RITE. Son las siguientes.

PARAMETROS	LIMITE
Temperatura operativa en verano (°C)	$23 \leq T \leq 25$
Humedad relativa en verano (%)	$45 \leq T \leq 60$
Temperatura operativa en invierno (°C)	$21 \leq T \leq 23$
Humedad relativa en invierno (%)	$40 \leq T \leq 50$
Velocidad admisible con difusión por mezcla (m/s)	$V \leq 0.14$

**Tabla 2. Exigencia de calidad ambiental. RITE IT 1.1.4.1**

A continuación se muestran las tablas de cálculo de cargas térmicas de refrigeración y calefacción realizadas para las diferentes estancias de la vivienda.

### A. Necesidades de refrigeración

SALÓN - COMEDOR	Cantidad	Factor					Frigorias/h	W	
		Grados de diseño exterior							
		Zona norte	Centro		Zona sur				
		32	35	38	41	43			
1- Suelo	36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549	
2- Volumen de la habitación	96,70 m <sup>3</sup>	5					484	559	
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)	S ó E	3,78 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	510	590
	SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0
	O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0
	NO ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3	1,80 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	99	115	
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)	9,96 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	448	519	
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores	11,96 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	443	512	
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondiciona	9,46 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	161	186	
8- Tejado o techo (Usar solo uno )	techo con espacio sin acondicionar ar	36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549
	techo sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
	50mm(2")ó mas de aslamie	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
	Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0
9- Personas	4,00	120					480	555	
10- Luces y equipos eléctricos en uso	Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86					69	80
	Fluorescentes	80,00 w	1,0625					85	98
Carga de refrigeración total							<b>3726</b>	<b>4311</b>	<b>w</b>

**Tabla 3. Cálculo de cargas de refrigeración en salón-comedor.**

COCINA		Cantidad	Factor					Frigorias/h	W		
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			32	35	38	41	43				
1- Suelo		12,27 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	160	185		
2- Volumen de la habitación		29,44 m <sup>3</sup>	5					147	170		
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		S ó E	3,36 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	454	525	
		SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		NO ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		1,54 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	85	98		
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)		7,56 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	340	394		
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores		15,64 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	579	670		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	0	0		
8- Tejado o techo (Usar solo uno )		techo con espacio sin acondicionar ar	12,27 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	160	185	
		techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamie	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
9- Personas		3,00	120					360	417		
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86					69	80	
		Fluorescentes	50,00 w	1,0625					53	61	
Carga de refrigeración total							<b>2405</b>	<b>2783 w</b>			

Tabla 29. Calculo de cargas de refrigeración en cocina.

DORMITORIO PPAL		Cantidad	Factor					Frigorias/h	W		
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			32	35	38	41	43				
1- Suelo		11,55 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	150	174		
2- Volumen de la habitación		30,00 m <sup>3</sup>	5					150	174		
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		S ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0	
		SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		NO ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0		
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)		3,63 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	163	189		
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores		16,45 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	609	704		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		8,56 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	146	168		
8- Tejado o techo (Usar solo uno )		techo con espacio sin acondicionar ar	m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamie	11,55 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	127	147
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
9- Personas		2,00	120					240	278		
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	50,00 w	0,86					43	50	
		Fluorescentes	w	1,0625					0	0	
Carga de refrigeración total							<b>2216</b>	<b>2564 w</b>			

Tabla 30. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio principal.

DORMITORIO 1		Cantidad	Factor					Frigorias/h	W			
			Grados de diseño exterior									
			Zona norte		Centro	Zona sur						
			32	35	38	41	43					
1- Suelo		9,15 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	119	138			
2- Volumen de la habitación		23,79 m <sup>3</sup>	5					119	138			
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		S ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0		
		SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0		
		O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0		
		NO ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680		
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0			
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)		2,70 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	122	141			
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores		3,39 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	125	145			
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondiciona		2,70 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	46	53			
8- Tejado o techo (Usar solo uno )		techo con espacio sin acondicionar ar		m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento		m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamie		9,15 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	101	116
		Tejado sin aislamiento		m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
9- Personas		2	120					240	278			
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos		50 w	0,86					43	50	
		Fluorescentes		w	1,0625					0	0	
Carga de refrigeración total							<b>1502</b>	<b>1738 w</b>				

Tabla 31. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio 1.

DORMITORIO 2		Cantidad	Factor					Frigorias/h	W			
			Grados de diseño exterior									
			Zona norte		Centro	Zona sur						
			32	35	38	41	43					
1- Suelo		9,25 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	120	139			
2- Volumen de la habitación		24,05 m <sup>3</sup>	5					120	139			
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		S ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0		
		SO	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0		
		O	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0		
		NO ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680		
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0			
5- Pared expuesta al sol (usar solo la pared usada en el punto 3)		2,70 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	122	141			
6- Todas las paredes no incluidas en el punto 5 exteriores		m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	0	0			
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondiciona		2,70 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	46	53			
8- Tejado o techo (Usar solo uno )		techo con espacio sin acondicionar ar		m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento		m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamie		9,25 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	102	118
		Tejado sin aislamiento		m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
9- Personas		2	120					240	278			
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos		50 w	0,86					43	50	
		Fluorescentes		w	1,0625					0	0	
Carga de refrigeración total							<b>1381</b>	<b>1597 w</b>				

Tabla 32. Calculo de cargas de refrigeración en dormitorio 2.

La carga total de refrigeración necesaria para toda la vivienda será la suma de los resultados obtenidos en cada habitación.

Habitación	Frigorías	Wattios
Salón - comedor	3726	4311
Cocina	2405	2783
Dormitorio ppal.	2216	2564
Dormitorio 1	1502	1735
Dormitorio 2	1381	1597
<b>TOTAL</b>	<b>11.230</b>	<b>12.990</b>

**Tabla 4. Resumen de cargas de refrigeración total de la vivienda.**

Obtenemos como resultado que la potencia necesaria para refrigerar la vivienda debe ser de **13 kW**.

**B. Necesidades de calefacción**

Salón - Comedor		Cantidad	Factor					Kcal/h	W
			Grados de diseño exterior						
			Zona norte	Centro	Zona sur				
		-6	-3	0	3	6			
1- Suelo		36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549
2- Volumen de la habitación		96,70 m <sup>3</sup>	5					484	559
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)	NO ó E	3,78 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	510	590
	NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0
	N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0
	O ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		1,80 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	99	115
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		9,96 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	448	519
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		11,96 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	443	512
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		9,46 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	161	186
8- Tejado o techo (usar solo uno)	techo con espacio sin acondicionar arriba	36,47 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	474	549
	techo sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
	50mm(2")ó mas de aislamiento	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
	Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0
GANANCIAS TERMICAS									0
9- Personas		4,00	120					-480	-555
10- Luces y equipos eléctricos en uso	Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86					-69	-80
	Fluorescentes	80 w	1,0625					-85	-98
Carga de calefaccion total							<b>2459</b>	<b>2845 W</b>	

**Tabla 5. Calculo de cargas de calefacción en salón-comedor.**

Cocina		Cantidad	Factor						Kcal/h	W	
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			-6	-3	0	3	6				
1- Suelo		12,27 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	160	185		
2- Volumen de la habitación		29,44 m <sup>3</sup>	5						147	170	
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		NO ó E	3,36 m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	454	525	
		NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		O ó SE	m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	0	0	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		1,54 m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	85	98		
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		7,56 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	340	394		
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		15,64 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	579	670		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	0	0		
8- Tejado o techo (usar solo uno)		techo con espacio sin acondicionar arriba	12,00 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	156	180	
		techo	sin aislamiento	12,27 m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	429	497
			50mm(2")ó mas de aslame	m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	0	0
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
GANANCIAS TERMICAS									0		
9- Personas		3,00	120						-360	-417	
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	80,00 w	0,86						-69	-80
		Fluorescentes	50 w	1,0625						-53	-61
Carga de calefaccion total								<b>1867</b>	<b>2161 W</b>		

Tabla 33. Calculo de cargas de calefacción en cocina.

Dormitorio ppal		Cantidad	Factor						Kcal/h	W	
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			-6	-3	0	3	6				
1- Suelo		11,55 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	150	174		
2- Volumen de la habitación		30,00 m <sup>3</sup>	5						150	174	
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		NO ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0	
		NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		O ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0		
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		3,63 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	163	189		
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		16,45 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	609	704		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		8,56 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	146	168		
8- Tejado o techo (usar solo uno)		techo con espacio sin acondicionar arriba	m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslame	11,55 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	127	147
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
GANANCIAS TERMICAS									0		
9- Personas		2,00	120						-240	-278	
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	50,00 w	0,86						-43	-50
		Fluorescentes	w	1,0625						0	0
Carga de calefaccion total								<b>1650</b>	<b>1909 W</b>		

Tabla 34. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio principal.

Dormitorio 1		Cantidad	Factor					Kcal/h	W		
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			-6	-3	0	3	6				
1- Suelo		9,15 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	119	138		
2- Volumen de la habitación		23,79 m <sup>3</sup>	5					119	138		
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		NO ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0	
		NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		O ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0		
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		2,70 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	122	141		
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		3,39 m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	125	145		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		2,70 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	46	53		
8- Tejado o techo (usar solo uno)		techo con espacio sin acondicionar arriba	m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamiento	9,15 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	101	116
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
GANANCIAS TERMICAS									0		
9- Personas		2,00	120					-240	-278		
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	50,00 w	0,86					-43	-50	
		Fluorescentes	w	1,0625					0	0	
Carga de calefaccion total							<b>936</b>	<b>1083 W</b>			

Tabla 35. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio 1.

Dormitorio 2		Cantidad	Factor					Kcal/h	W		
			Grados de diseño exterior								
			Zona norte		Centro	Zona sur					
			-6	-3	0	3	6				
1- Suelo		9,25 m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	120	139		
2- Volumen de la habitación		24,05 m <sup>3</sup>	5					120	139		
3- Ventanas expuestas al sol (usar solo las de una pared, la que de el mayor resultado)		NO ó E	m <sup>2</sup>	115	120	135	150	165	0	0	
		NE	m <sup>2</sup>	210	220	230	240	260	0	0	
		N	m <sup>2</sup>	285	300	315	330	345	0	0	
		O ó SE	3,36 m <sup>2</sup>	155	165	175	190	205	588	680	
4- Todas las ventanas no incluidas en el punto 3		m <sup>2</sup>	30	40	55	70	85	0	0		
5- Pared mas desfavorable (usar solo la pared usada en el punto 3)		2,70 m <sup>2</sup>	30	36	45	50	57	122	141		
6- Todas las exteriores paredes no incluidas en el punto 5		m <sup>2</sup>	17	25	37	45	55	0	0		
7- Tabiques (todas las paredes interiores adyacentes a espacios sin acondicionar)		2,70 m <sup>2</sup>	8	11	17	21	25	46	53		
8- Tejado o techo (usar solo uno)		techo con espacio sin acondicionar arriba	m <sup>2</sup>	6	8	13	19	25	0	0	
		techo	sin aislamiento	m <sup>2</sup>	22	27	35	40	45	0	0
			50mm(2")ó mas de aslamiento	9,25 m <sup>2</sup>	8	8	11	11	14	102	118
		Tejado sin aislamiento	m <sup>2</sup>	46	53	59	66	72	0	0	
GANANCIAS TERMICAS									0		
9- Personas		2,00	120					-240	-278		
10- Luces y equipos eléctricos en uso		Incandescentes y equipos	50,00 w	0,86					-43	-50	
		Fluorescentes	w	1,0625					0	0	
Carga de calefaccion total							<b>815</b>	<b>943 W</b>			

Tabla 36. Calculo de cargas de calefacción en dormitorio 2.

La carga total de refrigeración necesaria para toda la vivienda será la suma de los resultados obtenidos en cada habitación.

Habitación	Kcalorias/h	Wattios
Salón - comedor	2459	2845
Cocina	1867	2161
Dormitorio ppal.	1650	1909
Dormitorio 1	936	1083
Dormitorio 2	815	943
<b>TOTAL</b>	<b>7.727</b>	<b>8.940</b>

*Tabla 6. Calculo de cargas de calefacción en salón-comedor.*

Después de realizar los cálculos para todas las estancias de la vivienda hemos obtenido como resultado que es necesaria una potencia de calefacción de **9 kW**



**Anexo 3 – Cálculos económicos**



## Análisis económico de la instalación de climatización geotérmica

Vamos a realizar la simulación del estado económico de la inversión, su evolución futura y el periodo de amortización a partir de los datos que hemos obtenido anteriormente en la realización de los cálculos referentes al ahorro económico respecto a instalaciones convencionales.

- Inversión inicial (con subvención): 15.046,45 €
- Ahorro energético total en climatización y calefacción: 460,40 €
- Ahorro en mantenimiento (1% de la inversión): 150,46
- Periodo de tiempo: 20 años

Anualmente se considera un incremento del 7 % en cuanto al ahorro en energía (electricidad y gas) y un 5 % del mantenimiento.

Esta simulación nos permitirá tener una visión sobre la viabilidad del proyecto en cuanto a su TIR (tasa interior de retorno) y Pay-Back (retorno de inversión)

AÑO	Inv. Inicial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingreso (ahorro gas y electricidad)		460,40	492,63	527,11	564,01	603,49	645,73	690,94	739,30	791,05	846,43
Ahorro en mantenimiento (1% inversión)		150,46	157,99	165,89	174,18	182,89	192,04	201,64	211,72	222,30	233,42
Inversión	-15046,45										
Flujo de caja	-15046,45	610,86	650,62	693,00	738,19	786,38	837,77	892,57	951,02	1013,36	1079,85
Pay-back	-15046,45	-14435,58	-13784,97	-13091,97	-12353,78	-11567,40	-10729,63	-9837,05	-8886,03	-7872,67	-6792,83
Pay-back = 15 años											

**Tabla 37. Amortización inversión instalación geotérmica. Periodo 1 a 10 años .**

AÑO	Inv. Inicial	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ingreso (ahorro gas y electricidad)		905,68	969,07	1.036,91	1.109,49	1.187,16	1.270,26	1.359,18	1.454,32	1.556,12	1.665,05
Ahorro en mantenimiento (1% inversión)		245,09	257,35	270,21	283,72	297,91	312,80	328,45	344,87	362,11	380,22
Flujo de caja		1.150,77	1.226,42	1.307,12	1.393,22	1.485,07	1.583,06	1.687,62	1.799,19	1.918,23	2.045,27
Pay-back		-5.642,06	-4.415,64	-3.108,52	-1.715,30	-230,24	1.352,82	3.040,45	4.839,63	6.757,86	8.803,13
VAN	3524,14										
TIR 20 años	5,10%		TIR 5 años	-31,93%		TIR 10 años	-7,27%		TIR 15 años	1%	
Ratio	4,39										

**Tabla 38. Amortización inversión instalación geotérmica. Periodo 10 a 20 años .**

En la siguiente tabla podemos examinar el resultado del TIR en diferentes periodos de la inversión.

PERIODO	5 AÑOS	10 AÑOS	15 AÑOS	20 AÑOS
TIR	-34,05%	-20,84%	-3,04%	2,26%

**Tabla 39. TIR de la inversión en la instalación geotérmica.**

### Análisis económico de la instalación solar fotovoltaica

Vamos a realizar la simulación económica de la inversión, tomando como base los siguientes datos.

- Inversión inicial: 32.201,49 €
- Periodo de tiempo: 30 años
- Precio de venta kW producido: 0,288821 € (Mayo 2011)
- Amortización anual (según el cálculo realizado 7.592,74 kW): 2.192,94 €

AÑO	Inversion	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Inversión	-32.200,00										
Flujo de caja	-32.200,00	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94
Pay-back	-32.200,00	-30.007,06	-27.814,12	-25.621,17	-23.428,23	-21.235,29	-19.042,35	-16.849,41	-14.656,47	-12.463,52	-10.270,58

**Tabla 40. Amortización inversión instalación solar. Periodo 1 a 10 años**

AÑO		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Flujo de caja		2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94
Pay-back		-8.077,64	-5.884,70	-3.691,76	-1.498,82	694,13	2.887,07	5.080,01	7.272,95	9.465,89	11.658,83

**Tabla 41. Amortización inversión instalación solar. Periodo 10 a 20 años**

AÑO	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Flujo de caja	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94	2.192,94
Pay-back	13.851,78	16.044,72	18.237,66	20.430,60	22.623,54	24.816,48	27.009,43	29.202,37	31.395,31	33.588,25

**Tabla 42. Amortización inversión instalación solar. Periodo 1 a 20 años**

En la siguiente tabla podemos examinar el resultado del TIR en diferentes periodos de la inversión.

Periodo (años)	5	10	15	20	25	30
TIR	-27,73%	-6,44%	0,27%	3,14%	4,60%	5,41%

**Tabla 43. TIR de la inversión en la instalación solar.**



**Anexo 4 – Fundamentos teóricos de la bomba de  
calor geotérmica**

## 4. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA BOMBA DE CALOR GEOTERMICA

### 4.1. Bomba de calor geotérmica

#### 4.1.1. Elementos

Las distintas etapas del ciclo termodinámico de la bomba de calor se llevan a cabo en equipos especializados. Para ello, el compresor eleva la presión del fluido refrigerante, en el condensador el gas refrigerante comprimido pasa a estado líquido, en la válvula de expansión se disminuye la presión para favorecer la evaporación del líquido refrigerante y es en el evaporador donde el líquido termina de evaporarse.

Los elementos principales de la bomba de calor geotérmica son los que se indican a continuación.

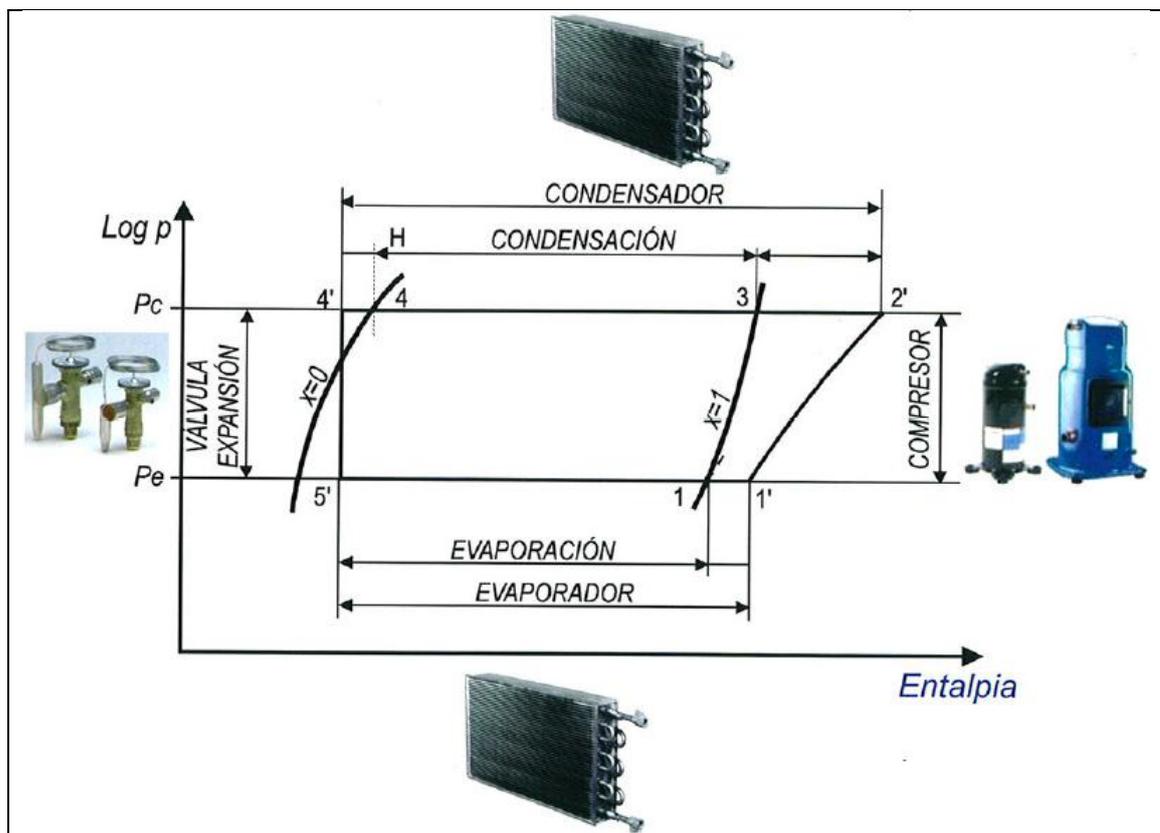


Figura 49. Componentes principales de la bomba de calor geotérmica.

### **A. Condensador y evaporador**

Los condensadores y evaporadores son intercambiadores de calor entre dos fluidos que circulan por conductos separados pero que permiten un flujo de calor entre ambos fluidos. La tecnología usada para ambos es idéntica.

En el condensador, el refrigerante gaseoso a alta presión cede calor a otro fluido, que en nuestro caso es agua o el terreno según sea funcionamiento en invierno (modo calefacción) o en verano (modo refrigeración) que se calentará. A la salida del compresor el gas refrigerante está caliente debido al proceso de compresión, denominándose vapor sobrecalentado. En el condensador se procede a enfriar el vapor, eliminar el calor generado en el proceso de condensación y, posteriormente se sigue enfriando hasta conseguir un líquido subenfriado que mejora el ciclo termodinámico de la bomba de calor.

El condensador es un elemento que es diseñado de forma que sean compactos, eficientes y con facilidad para evacuar el líquido condensado. El intercambio en el mismo lo haremos con agua para extraer calor al refrigerante. El sumidero al que se evacua este calor es el interior del recinto a calentar en modo calefacción o si está trabajando en modo refrigeración, hacia el terreno.

El proceso contrario al condensador se lleva a cabo en el evaporador, en el que la mezcla de líquido y vapor que resulta después del paso del líquido por la válvula de expansión se evapora, absorbiendo calor de un fluido que típicamente es agua glicolada.

En el proceso de evaporación hay que procurar que a la salida del evaporador el fluido refrigerante se encuentre en fase de vapor para evitar que entre líquido en el compresor, lo que daría lugar a problemas en el mismo. Por ello el vapor se sobrecalienta un poco en el evaporador, evitando de esta forma gotas de líquido.

Típicamente los condensadores y evaporadores están constituidos por un paquete de placas corrugadas en acero inoxidable, entre las que circula alternativamente el agua y el refrigerante. El estriado de la placa a la siguiente se gira 180° para mejorar la turbulencia. Estos se encuentran montados en vertical.

## **B. Compresor**

El compresor es el equipo capaz de elevar la presión del vapor refrigerante tras su paso por el evaporador. El compresor necesita de un aporte de energía mecánica para poder conseguir comprimir el gas, de esta forma el gas aumentará la cantidad de calor que contiene y su temperatura.

Los compresores necesitan de la unidad de compresión y la unidad que le proporciona energía mecánica que en este caso es un motor eléctrico.

En las pequeñas instalaciones de uso residencial se suelen usar compresores alternativos, rotativos o scroll para aumentar la presión del gas por medio de su reducción de volumen por medios mecánicos. Los alternativos y rotativos basan su funcionamiento en el movimiento de un pistón mientras que los de tipo scroll lo hacen mediante la reducción del volumen entre dos cuerpos.

## **C. Válvula de expansión**

Este elemento sirve para disminuir la presión que porta el líquido refrigerante tras su paso por las etapas de compresión y condensación, quedando en las condiciones adecuadas para la evaporación.

La válvula de expansión termostática regula la inyección de refrigerante al evaporador para mantener el sobrecalentamiento del vapor y evitar el arrastre de líquido.

### **4.1.2. Funcionamiento**

Los fundamentos físicos de la bomba de calor son los principio termodinámicos de los ciclos de refrigeración, en los que se constituyen máquinas cuyo objetivo es mantener un determinado volumen a baja temperatura, para lo cual están constantemente evacuando calor desde una zona fría, foco frío, hasta otra zona a mayor temperatura, foco caliente. De acuerdo a las leyes termodinámicas, para poder transferir calor en el sentido contrario al del flujo natural del calor, será necesario el aporte de un trabajo externo, normalmente aportado por un compresor accionado por un motor eléctrico.

Una diferencia significativa entre una máquina de refrigeración y una bomba de calor es que, en la primera, el objetivo se centra en el calor extraído al foco frío, mientras que en la bomba de calor el objetivo puede ser ese mismo, si trabaja en modo refrigeración como puede suceder en verano, o bien el calor que se aporta al foco caliente, como sucede cuando trabaja calentando el interior de un edificio en invierno.

Los componentes principales de una bomba de calor son cuatro tal como se había comentado en el apartado anterior: el evaporador, que es el encargado de extraer el calor, el compresor, el condensador, que es el encargado de ceder calor, y la válvula de expansión.

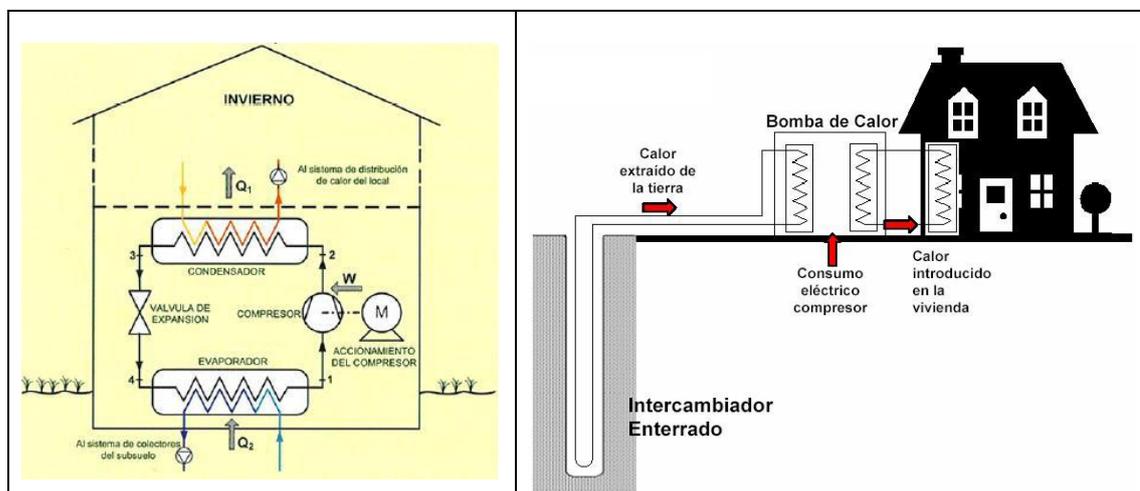
La máquina trabaja en ciclo cerrado, es decir, por el interior de la máquina circula un fluido refrigerante que, al atravesar los distintos componentes, sufrirá una serie de transformaciones en su estado y propiedades, al final de las cuales volverá a recuperar su estado inicial, repitiéndose cíclicamente dicha secuencia y consiguiendo los transvases de calor perseguidos.

El evaporador es un intercambiador de calor donde el fluido refrigerante, a baja presión, y temperatura va a absorber el calor traído hasta él por los colectores dispuestos en el subsuelo, que estarán recorridos por un fluido caloportador generalmente formado por una mezcla de agua y glicol, éste último para evitar la congelación de la mezcla.

Al absorber el calor, el fluido refrigerante pasa de un estado líquido gaseoso a evaporarse completamente a presión constante. A continuación, el refrigerante, ya en estado vapor, pasa al compresor, que es accionado por un motor elevándose su presión, temperatura y contenido energético. El refrigerante pasa al condensador para ceder a presión constante su energía en forma de calor al fluido de distribución de calefacción del recinto que se quiere calentaren nuestro caso al aire que será impulsado a la vivienda.

Debido a esta transformación, al salir del condensador, el refrigerante vuelve a estado líquido. Finalmente, el refrigerante pasa a la válvula de expansión, donde se

acondiciona el fluido rebajando su presión y temperatura antes de entrar al evaporador como una mezcla de vapor y líquido, con predominio de vapor, completándose así el ciclo.



**Figura 50. Bomba de calor trabajando en modo calefacción.**

La bomba de calor geotérmica impulsa calor de ambientes fríos a ambientes más calientes en sentido contrario al gradiente natural de flujo de calor. Así el calor  $Q_2$  extraído al terreno a baja temperatura  $T_2$  es recogido por el refrigerante en el evaporador para ser llevado hacia el interior del recinto.

Sin embargo, para poder ceder ese calor a una temperatura más alta  $T_1$ , es necesario subir la presión y temperatura del refrigerante por medio de un compresor cuyo trabajo es recibido en forma de energía por el refrigerante. De este modo, el calor  $Q_1$  finalmente cedido en el interior del local es mayor que el extraído al terreno, cumpliéndose:

$$Q_1 = Q_2 + W$$

Hay que tener en cuenta que en el evaporador y condensador el flujo de calor sigue las leyes de la transmisión de calor, es decir, sigue direcciones decrecientes con la temperatura, por lo que para conseguir los flujos de calor perseguidos, el refrigerante debe estar a una temperatura inferior a la del terreno en el evaporador y a una

temperatura superior a la del fluido de la calefacción en el condensador, en ambos caso con un margen de unos 10°C para que se dé una buena transferencia de calor y se complementen los procesos de evaporación y condensación.

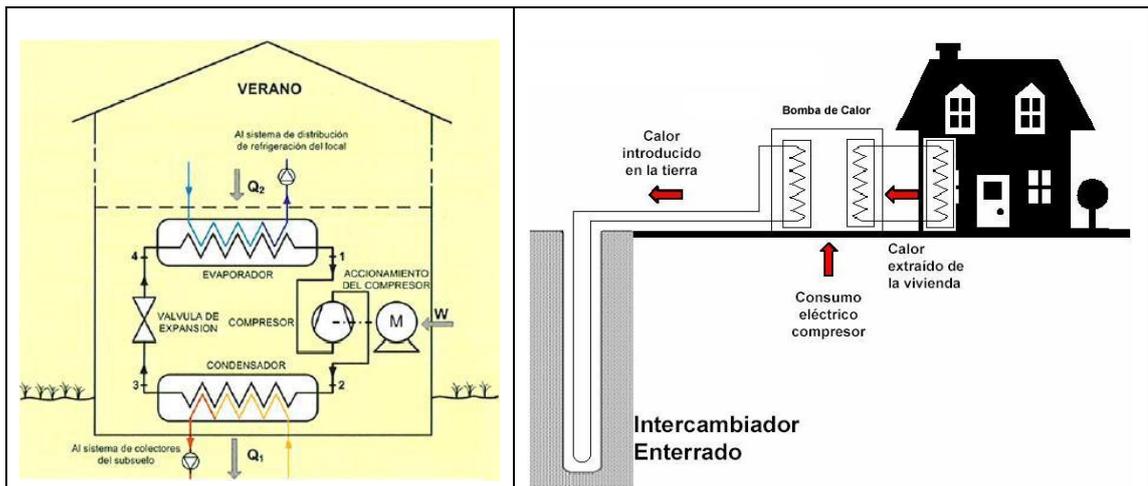
En el evaporador y en el condensador, la absorción o cesión de calor del refrigerante es debida principalmente a su cambio de fase. Cuando un fluido se está vaporizando o condensando, la presión y la temperatura se mantienen constantes.

La temperatura a la que se vaporiza un fluido depende de su presión y viceversa. Por lo tanto, conseguir las temperaturas del refrigerante en el evaporador y el condensador es equivalente a decir que se deben conseguir las presiones en ambos elementos que permiten los cambios de fase a dichas temperaturas. Ésta es la función principal del compresor y de la válvula de expansión, acondicionar las presiones para una adecuada transmisión de calor.

Adicionalmente, el compresor introduce un calor equivalente a su trabajo  $W$  hacia el recinto, lo cual parece beneficioso cuando se trata de calentar. Sin embargo, no se debe perder de vista que se trata de inyectar el máximo calor renovable ofrecido por el terreno, realizando el menor trabajo  $W$  externo posible.

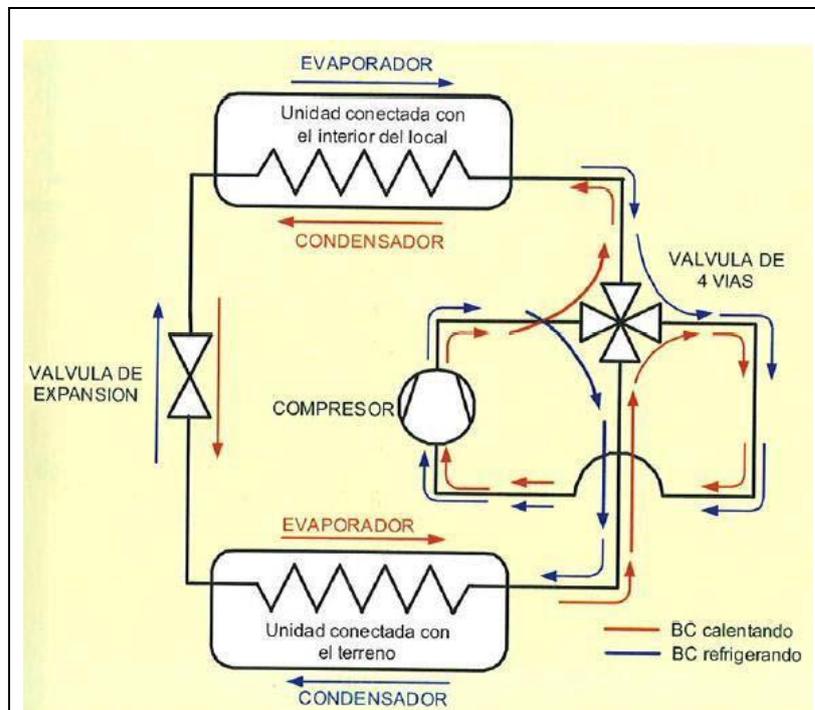
Una característica muy atractiva de la bomba de calor es la posibilidad de invertir el sentido del flujo calorífico dependiendo de la temperatura ambiental, es decir, usarla como calefacción en invierno y como sistema de refrigeración en verano, evitando tener que duplicar los equipos instalados, uno para calentar y otro distinto para refrigerar.

La casa pasará a trabajar a baja presión como evaporador y el intercambiador conectado térmicamente al terreno pasará a trabajar a mayor temperatura y presión como condensador.



**Figura 51. Bomba de calor trabajando en modo refrigeración.**

Para poder llevar a cabo esta reversibilidad de funciones se utiliza una válvula de 4 vías. En la siguiente figura se muestra como queda la disposición de equipos y el recorrido del refrigerante trabajando en modo calentamiento o trabajando en modo refrigeración.



**Figura 52. Reversibilidad de la bomba de calor por medio de una válvula de 4 vías.**

La válvula inversora se encarga de redirigir el flujo de refrigerante al intercambiador correcto en cada modo. Independientemente del modo, el refrigerante siempre hace el mismo recorrido en el compresor, en el sentido del diseño del mismo de aumento de presión.

#### **4.1.3. Fluido refrigerante**

El papel del fluido refrigerante en la bomba de calor es muy importante, ya que es el vehículo de transporte del calor entre el interior y el exterior. La bomba de calor por ciclo de compresión trabaja en ciclo cerrado, lo que significa para el refrigerante que en cada ciclo va a sufrir dos cambios de fase absorbiendo y cediendo calor a las presiones que convengan en evaporador y condensador, respectivamente.

Las propiedades más relevantes de un fluido refrigerante para una aplicación con un salto de temperatura determinado son:

- Presión de evaporación: conviene que la presión en el evaporador (a baja temperatura) sea mayor que la atmosférica para evitar entrada de aire y humedad.
- Punto crítico alejado (cúspide de la campana presión-entalpía) que define las presiones y temperaturas críticas por encima de las cuales no se puede condensar el vapor.
- Punto de congelación suficientemente bajo: de modo que no se produzca solidificación del refrigerante en el intercambiador con el terreno.
- Relación de compresión: la relación entre la presión en el condensador y la del evaporador debe ser tan baja como sea posible, ya que implica menor trabajo de compresión.
- Eficacia en la transmisión de calor: buen coeficiente de convección que mejore la transmisión de calor en los intercambiadores.
- Bajas pérdidas de presión en su circulación por el circuito.



**Anexo 5 – Catálogos de los equipos**

